

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний інститут, машинобудівний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра «Технологія машинобудування»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)
(ступінь вищої освіти)

на тему «Дослідження характеристик поверхневого шару авіаційних
деталей складної форми після віброударної обробки»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи M-110м

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
«Технології машинобудування»

Мілютін О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Пухальська Г.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Широкобоков В.В.

(прізвище та ініціали)

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Технологія машинобудування
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри С.І. Дядя

«_____» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Мілютіна Олександра Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження характеристик поверхневого шару авіаційних деталей складної форми після віброударної обробки

керівник проекту (роботи) Пухальська Г.В., канд. техн. наук, доцент,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 16 » 11 2021 року №443

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 02.12.2021

3. Вихідні дані до проекту (роботи) креслення деталі, інструкція зі зміцнення поверхневого шару, необхідність дослідження характеристик поверхневого шару після віброударної обробки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Огляд літературних джерел; 2 Методика експериментальних досліджень; 3 Експериментальні дослідження; 4 Оцінка економічної ефективності використання одночасного зміцнення внутрішньої та зовнішньої поверхонь лонжерона в порівнянні з поетапною обробкою поверхонь; 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1–3	доцент Пухальська Г.В.		
Економічна част.	доцент Пухальська Г.В.		
Охорона праці	доцент Шмирко В.І.		
Нормоконтроль	доцент Дядя С.І.		

7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літературних джерел	25.09.2021	
2	Методика експериментальних досліджень	10.10.2021	
3	Експериментальні дослідження	21.10.2021	
4	Оцінка економічної ефективності	03.11.2021	
	використання технології віброударного зміцнення		
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	21.11.2021	
6	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2021	
7	Нормоконтроль і рецензія	05.12.2021	
8	Захист дипломного проекту	14.12.2021	

Студент(ка)

_____ Мільютін О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Пухальська Г.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 92 с., 13 табл., 30 рис., 1 дод., 27 джерел.

ВІБРОУДАРНЕ ЗМІЦНЕННЯ; ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР; ШОРСТКІСТЬ;
МІКРОТВЕРДІСТЬ; ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ.

Об'єкт дослідження – лонжерон лопаті гвинта з алюмінієвого сплаву АВТ–1. Зміцненню піддаються лонжерони, що остаточно пройшли механічну обробку за технологічним процесом.

Метою роботи є дослідження характеристик поверхневого шару авіаційних деталей складної форми після віброударної обробки на прикладі лонжерона лопаті гвинта вертольоту.

При дослідженні якості поверхні розглянуті такі параметри: мікротвердість, залишкові напруження, шорсткість поверхневого шару. Контроль результатів проводився на зразках–свідках, що були встановлені на лонжероні. Наведена техніко–економічна оцінка ефективності використання даної технології зміцнення. Рекомендовані заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	7
Вступ	8
1 Огляд літературних джерел	11
1.1 Опис конструкції та службового призначення об'єкта дослідження	11
1.2 Технологія поетапної віброударної обробки поверхонь лонжерона	14
1.3 Огляд та класифікація схем віброударного зміцнення	18
1.4 Аналіз основних параметрів процесу віброударної обробки.....	26
1.5 Схема одночасного зміцнення внутрішньої та зовнішньої поверхонь лонжерона.....	28
2 Методика експериментальних досліджень	31
3 Експериментальні дослідження.....	35
3.1 Визначення характеристик поверхневого шару внутрішньої поверхні лонжерону.....	35
3.1.1 Висновки за результатами зміцнення внутрішньої поверхні.....	45
3.2 Визначення характеристик поверхневого шару зовнішньої поверхні лонжерону.....	46
3.2.1 Висновки за результатами зміцнення зовнішньої поверхні.....	49
3.3 Визначення залишкових напружень після віброударного зміцнення	50
3.3.1 Висновки за результатами вимірів залишкових напружень	55
4 Оцінка економічної ефективності використання одночасного зміцнення внутрішньої та зовнішньої поверхонь лонжерона в порівнянні з поетапною обробкою	56
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	61
5.1 Аналіз потенційних небезпек	61
5.2 Заходи з забезпечення безпеки	64
5.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....	68
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	69

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	72
5.6 Висновки	77
Висновки.....	78
Перелік джерел посилання	80
Додаток А. Результати вимірів залишкових напружень.....	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП	– аналого–цифровий перетворювач
КС	– клиновий зміцнювач
КСЗ	– кулько–стрижневий зміцнювач
МОР	– мастильно–охолоджуюча рідина
ППД	– поверхнева пластична деформація
ТОТС	– транспортно–обробляюча технологічна система

ВСТУП

Зі зростанням швидкостей та навантажень у виробках та машинах різноманітного призначення ускладнюються умови експлуатації найбільш навантажених деталей. Дивлячись на це, однією з найважливіших задач сучасного машинобудування є пошук шляхів підвищення якості, надійності та довговічності деталей та вузлів, в тому числі за рахунок вдосконалення технологічних методів зміцнюючої обробки.

Умови роботи деталей машин в багатьох випадках характеризуються високими механічними і тепловими навантаженнями, наявністю в парному просторі хімічно агресивних або абразивних середовищ, що обумовлює необхідність розробки конструкційних матеріалів типу високолегованих сталей і сплавів або розробку прогресивних методів поверхневого зміцнення з нанесенням покриттів, що мають задані властивості, або створення мікрогеометрії поверхневого шару з необхідними характеристиками.

Важливе місце в підвищенні довговічності і надійності роботи механізмів машин відводиться процесам зміцнення деталей методами поверхневого пластичного деформування, що забезпечують стабільні і сприятливі, з точки зору експлуатаційних характеристик, характеристики якості поверхні і поверхневого шару.

Порівняльний аналіз методів зміцнюючої обробки динамічним поверхнево–пластичним деформуванням показує, що віброударна обробка найбільш універсальна при низькій вартості, конструктивній простоті і досить високій ефективності.

До особливостей розглянутих методів вібраційної оздоблювально–зміцнюючої обробки слід віднести відсутність жорсткого кінематичного зв'язку між елементами технологічної системи, що дозволяє здійснювати обробку значних ділянок або всієї поверхні одночасно; деякі схеми обробки дозволяють

обробляти одночасно партії деталей, забезпечуючи істотне скорочення витрат і штучного часу.

Серед оброблюваних деталей: лонжерони і панелі літаків і вертольотів, колінчаті і розподільні вали двигунів, зубчасті колеса, лопатки турбін, деякі види штампового і металорізального інструменту та ін.

Поверхнєве зміцнення, що створює на поверхні деталі напруження стиску, покращує властивості поверхневого шару: підвищує міцність, твердість, опір відриву. Наведення залишкових стискаючих напружень в поверхневому шарі має вирішальне значення для підвищення втомного опору деталей. Ці стискаючі напруження додаються до експлуатаційних, в результаті чого витривалість деталі збільшується.

Зовнішня та внутрішня поверхні лонжерона підлягають віброударній обробці для підвищення втомної міцності.

Мета роботи – дослідження характеристик поверхневого шару авіаційних деталей складної форми після віброударної обробки на прикладі лонжерона лопаті гвинта вертольоту.

Так як обробка великогабаритних деталей має певні особливості та складності, то процеси зміцнювальної обробки таких деталей недостатньо широко застосовуються у виробництві. Тому дослідження впливу режимів обробки на якість обробленої поверхні габаритних деталей після віброударного зміцнення – актуальна тема в сучасному машинобудуванні.

Задачі досліджень: дослідити процес обробки поверхні лонжерону при одночасному зміцненню внутрішньої та зовнішньої поверхонь; дослідити вплив режиму обробки на якість обробленої поверхні (шорсткість поверхні, мікротвердість и залишкові напруження) та обрати оптимальну тривалість зміцнення; провести економічний розрахунок технології одночасного та поетапного зміцнення зовнішньої та внутрішньої поверхні лонжерону.

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні процесу віброударної обробки лонжерона гвинта вертольоту шляхом змінення технології зміцнення та вибору найбільш сприятливих умов та режимів зміцнення.

Практична цінність полягає в використанні нової технологічної схеми віброударної обробки авіаційних деталей складної форми, що забезпечує підвищення продуктивності, зниження енергозатрат. Розроблені технологічні рекомендації з вибору режимів зміцнення; надана порівняльна характеристика техніко–економічної оцінки результатів вимірювання.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Опис конструкції та службового призначення об'єкта дослідження

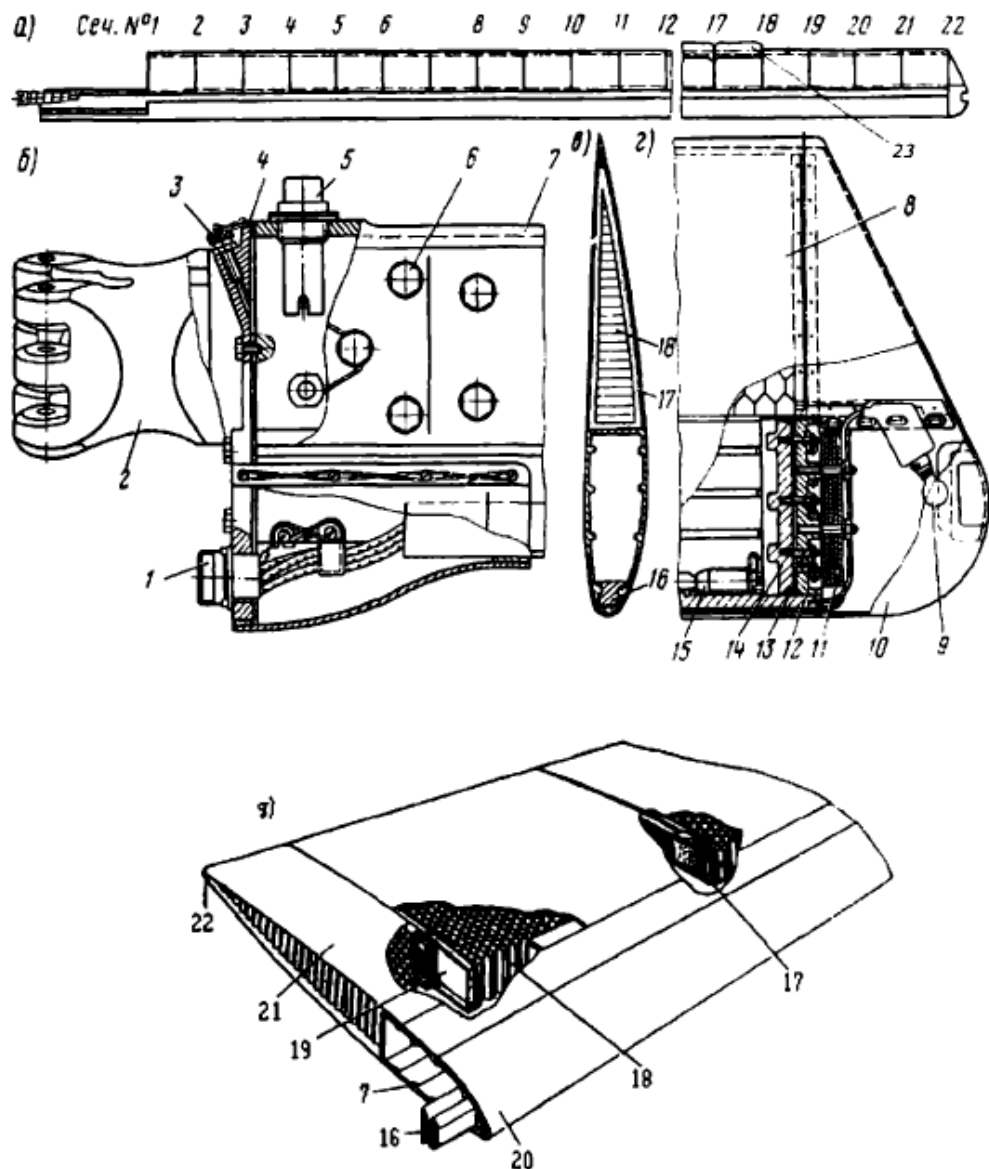
Лопать гвинта є головним агрегатом вертольота, що визначає його льотні характеристики і безпеку експлуатації. Гвинт призначений для створення підйомної сили на всіх режимах польоту, рушійної сили, а також для створення моментів поздовжнього і поперечного управління вертольотом. Гвинт складається з втулки і п'яти лопатей. Лопаті несучого гвинта працюють при значному за величиною навантаженні від відцентрової сили і знакозмінних навантажень від аеродинамічних і інерційних сил. З технічної точки зору лопать – агрегат, який повинен володіти максимально можливим рівнем надійності і який вимагає найпильнішої уваги на всіх етапах проектування, виробництва і експлуатації.

Лопать суцільнометалевої конструкції (рис. 1.1) складається з лонжерона 7, 21-го хвостового відсіку 8, сталевго наконечника 2, противаг 16 і кінцевої частини лопаті. Основним силовим елементом лопаті є лонжерон 7, що представляє собою порожнисту балку з внутрішнім постійним контуром. Лонжерон (рис. 1.2) виготовлений шляхом механічної обробки пустотілої заготівлі, пресованої з алюмінієвого сплаву АВТ–1.

Хімічний склад алюмінієвого сплаву АВТ–1 представлений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву АВТ–1 ГОСТ 4784–97

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Домішки
до 0.5	0.5 – 1.2	0.15 – 0.35	до 0.25	до 0.15	95.95 – 98.8	0.1 – 0.5	0.45 – 0.9	до 0.2	інші, кожна 0.05; всього 0.1



1 – штепсельна вилка; 2 – накінецьник; 3 – вентиль; 4 – заглушка;
 5 – сигналізатор тиску повітря; 6 – болт; 7 – лонжерон; 8 – хвостовий відсік;
 9 – лампа; 10 – кінцевий обтічник; 11 – балансувальні пластини;
 12 – заглушка; 13 – гумовий вкладиш; 14 – притиск; 15 – гвинтовий упор;
 16 – противаг; 17 – ущільнювальний вкладиш; 18 – стільниковий заповнювач;
 19 – нервюра; 20 – нагрівальні елементи; 21 – обшивка; 22 – хвостовий
 стрінгер; 23 – тримерна пластина

Рисунок 1.1 – Лопать гвинта (а – загальний вигляд лопаті гвинта; б – кормова частина лопаті; в – перетин лопаті; г – кінцева частина лопаті; д – типовий відсік лопаті) [1]

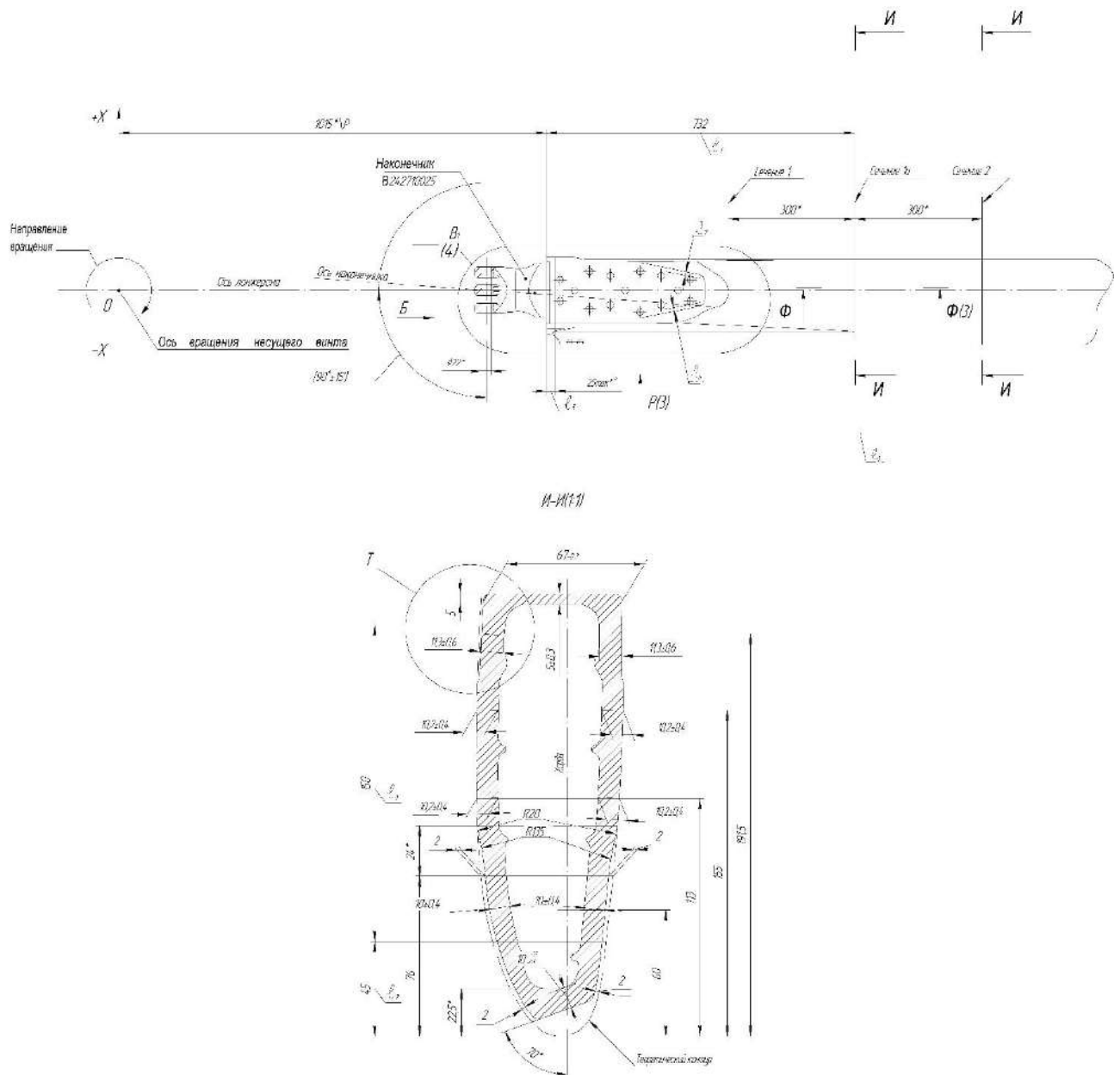


Рисунок 1.2 – Фрагмент креслення лонжерона лопаті гвинта

Сплави авіаль поступаються дуралюмінам по міцності, але мають кращу пластичність в холодному і гарячому станах, добре зварюються і мають опір до корозії. Авіаль має високу межу витривалості. Зміцнюючою фазою в авіалі є з'єднання Mg_2Si .

Авіаль гартують з 515–525°C з охолодженням у воді, а потім піддають природному старінню (ABT) або штучному при 160°C 12 год (ABT1). Штучне старіння треба виконувати відразу після загартування. При збільшенні перерви

між часом загартування та початком штучного старіння міцність сплаву після старіння зменшується.

Зі сплаву АВТ-1 виготовляють різні напівфабрикати: листи, труби, і т. д., що використовуються для елементів конструкцій, що несуть помірні навантаження, крім того, лопаті гвинтів вертольотів, ковані деталі двигунів, рами, двері, тощо, для яких потрібна висока пластичність у холодному та гарячому станах.

1.2 Технологія поетапної віброударної обробки поверхонь лонжерона

Лонжерон має велику довжину. Це вимагає наявності значних інтервалів розташування технологічного обладнання для його обробки. Утруднюється переміщення і установка лонжерона в пристосування верстатів, які здійснюються за допомогою мостового крана за спеціальною схемою стропування і вимагають присутності кількох робітників.

Міцність лонжерона лопаті може істотно знизитися якщо при його виготовленні будуть допущені різні технологічні дефекти.

У конструкціях лопатей, у яких лонжерон утворює контур в носовій частині профілю особливу увагу доводиться приділяти його захисту від механічних пошкоджень.

Основні заходи, використовуючи які конструктор може впливати на підвищення втомної міцності деталей, такі:

- збільшення площі небезпечного перетину зміна його геометрії;
- зменшення концентрації напружень;
- зміна жорсткості.

Для усунення поверхневих концентраторів напружень застосовується обробно–зміцнююча технологія: шліфування, полірування, зміцнення поверхні,

хімічна обробка поверхневих шарів матеріалу, тобто використовується комплекс методів зміцнюючої технології [1].

Найбільш істотним є прийом поліпшення якості поверхневих шарів зміцненням поверхневим пластичним деформуванням (ППД).

При зміцненні ППД поверхневих шарів матеріалу відбувається згладжування шорсткостей, зняття гребінців, зменшення глибини рисок і, найголовніше, відбувається ущільнення зовнішніх шарів матеріалу деталі.

Після такої обробки в поверхневих шарах виникає напруження стиснення. Вони накладаються на робочі напруження, і в результаті чого витривалість деталі підвищується.

Одним із заходів підвищення втомної міцності деталі, поверхня якої може мати фрикційну корозію, є застосування наклепу цієї поверхні. Наклеп є найбільш ефективним засобом збільшення надійності і ресурсу лопатей.

В даний час існує технологія зміцнення на однокоординатному вібростенді ВСУЛ-1А. Вібростенд має досить жорстку зварену раму, під якою розміщено два вала-вібратора, що приводяться в обертання від чотирьох електродвигунів. На кожному валу встановлені по вісім вібраторів (рис. 1.3)

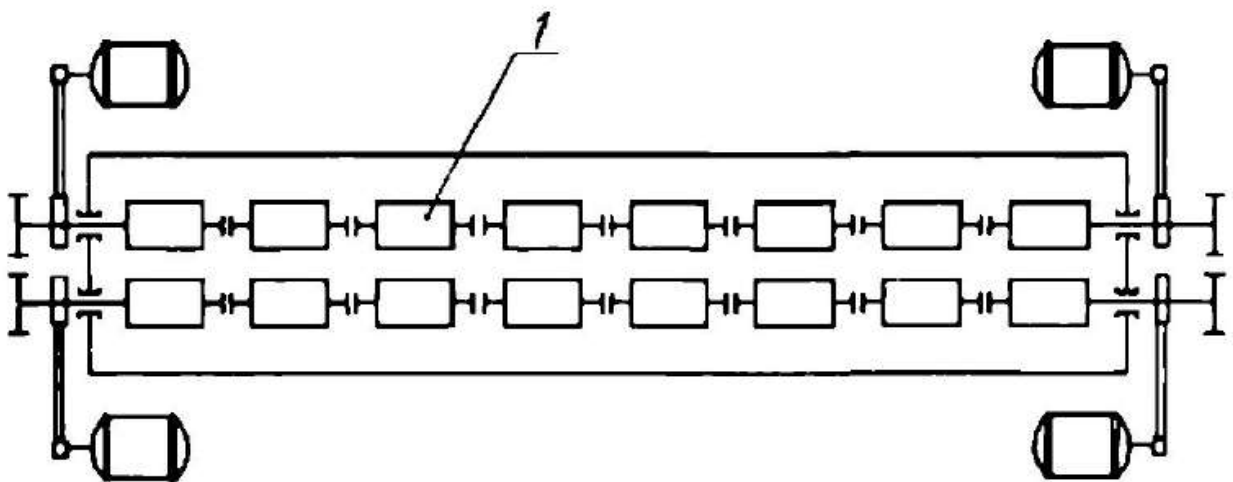


Рисунок 1.3 – Схема вібростенду ВСУЛ-1А [1]

Суть методу обробки полягає в тому, що зміцнення поверхневого шару металу відбувається в результаті зіткнення деталі, що коливається з кульковим завантаженням.

Оброблювана поверхня знаходиться під шаром сталевих куль в спеціальному контейнері, жорстко закріплена в ньому здійснює вимушені коливання разом з вібростолами, і контейнером у вертикальній площині.

На вібростенд одночасно встановлюється чотири лонжерона, кожен з яких поміщений в спеціальний контейнер. Зміцненню піддаються лонжерони, що остаточно пройшли механічну обробку за технологічним процесом. При завантаженні куль контейнер з лонжероном піднімають на кут 45° спеціальною траверсою, фіксують в цьому положенні, і за допомогою спеціального пристрою засипають кулі (рис. 1.4).

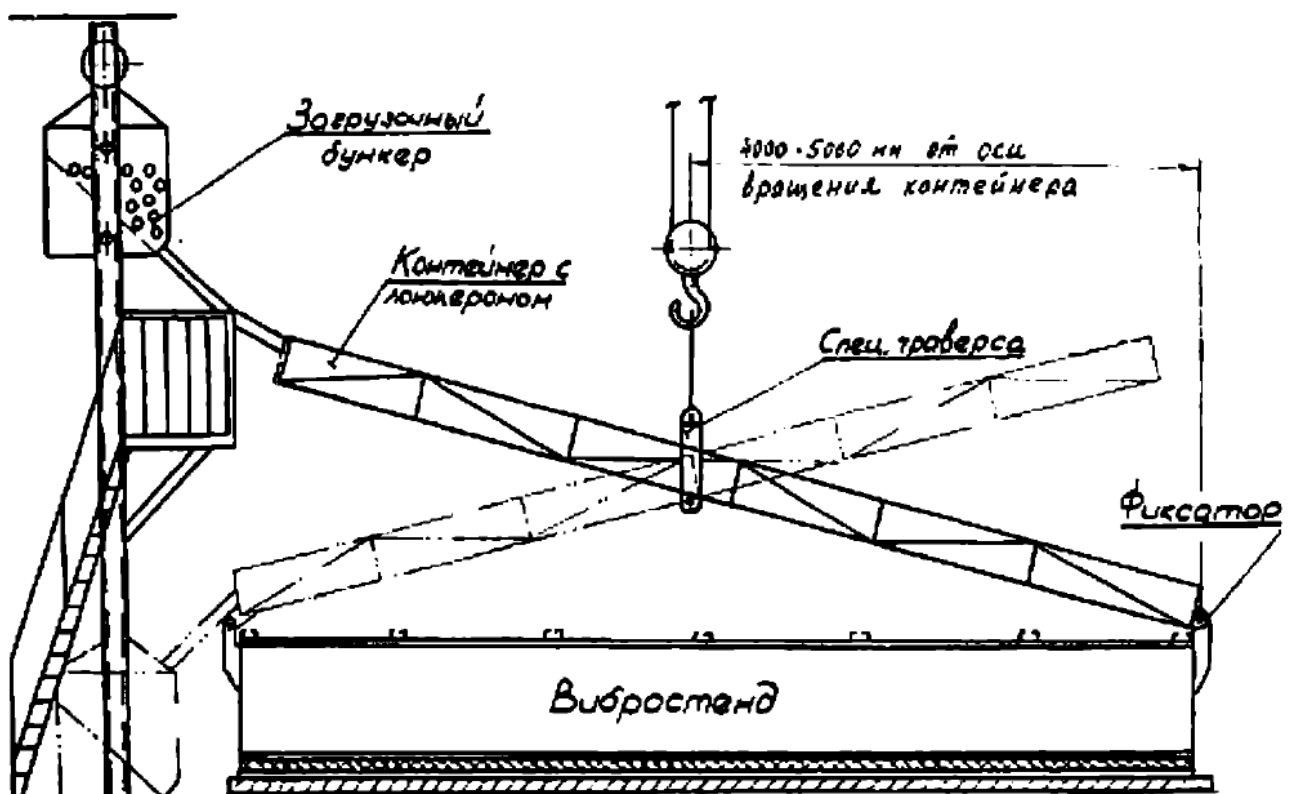


Рисунок 1.4 – Схема завантаження та вивантаження обробляючого середовища

Після завантаження обробного середовища контейнер з деталлю повертається у вихідне горизонтальне положення. Далі включається вібростенд, здійснюється обробка.

Умови обробки:

- амплітуда коливань, $A = 5,0 \pm 0,5$ мм;
- частота коливань, $V = 850 \pm 50$ Гц;
- кульки для зміцнення $d=7-8$ мм;
- час зміцнення одного переходу $t = 30 \pm 1$ хв [1].

Зміцнення поверхні лонжеронів проводиться в чотири переходи за наступною схемою.

Перехід №1 зміцнення носової частини і внутрішньої поверхні задньої стінки (рис. 1.5, а).

Перехід №2 зміцнення зовнішньої поверхні задньої стінки (рис. 1.5, б).

Перехід №3 зміцнення зовнішньої поверхні нижньої дужки і внутрішньої поверхні верхньої дужки (рис. 1.5, в).

Перехід №4 зміцнення зовнішньої поверхні верхньої дужки і внутрішньої поверхні нижньої дужки (рис. 1.5, г).

Кожен лонжерон повинен послідовно пройти всі чотири переходи. Час зміцнення контролюється за реле часу автоматично.

Контроль інтенсивності процесу зміцнення поверхні лонжерона проводиться за величиною деформації контрольних зразків (пластин). Зміцнення контрольних зразків проводиться на технологічному лонжероні спільно з серійними лонжеронами на встановлених режимах.

Після зміцнення деформацію контрольного зразка заміряють на спеціальному пристрої.

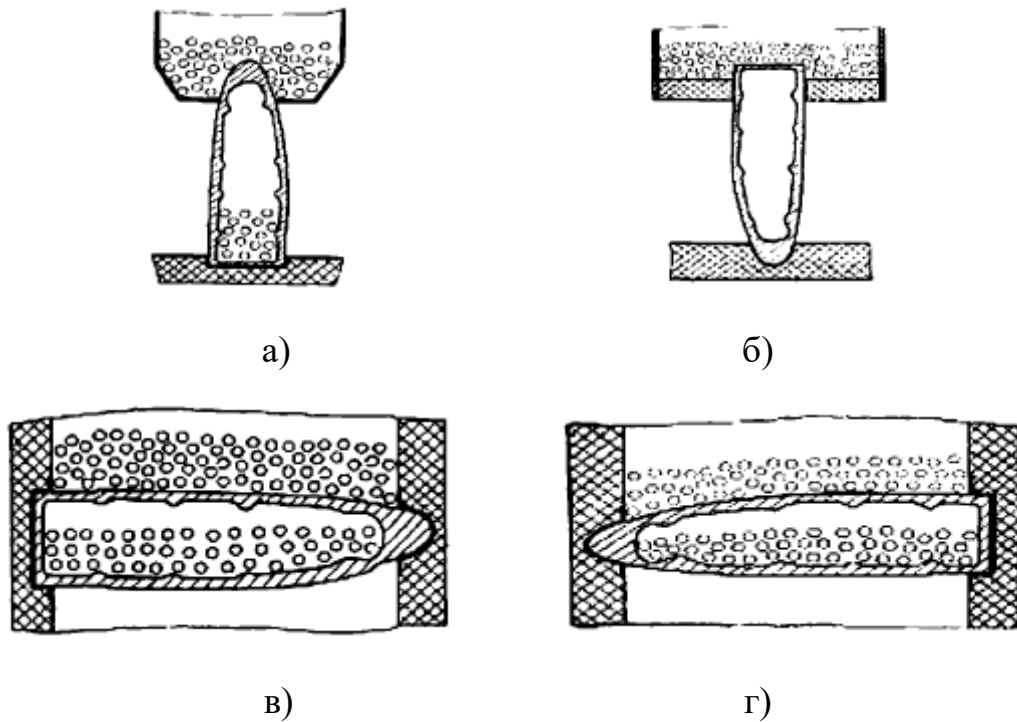


Рисунок 1.5 – Переходи обробки лонжерона [1]

1.3 Огляд та класифікація схем віброударного зміцнення

Вібраційна ударна (віброударна) обробка є різновидом об'ємної вібраційної обробки. При віброударній обробці робочій камері, змонтованій на пружних підвісках і маючій можливість коливатися в різних напрямках, повідомляються низькочастотні коливання – в більшості випадків за допомогою дебалансного вібратора. Внаслідок вібрацій робоче середовище і оброблювані деталі мають змінні за знаком прискорення і знаходяться в інтенсивному відносному переміщенні, здійснюючи два види рухів: коливання з частотою, що залежить від частоти коливань робочої камери, і кругові рухи всієї маси завантаження. Напрямок відносних переміщень деталі і робочих тіл постійно змінюється, в результаті чого між ними виникають зіткнення і посилене тертя [2].

Віброударна обробка проводиться в результаті безлічі мікроударів і відносного ковзання з певним тиском робочих тіл по поверхні оброблюваної деталі. Робочі тіла рухаються зі змінним прискоренням, що забезпечує їх велику рухливість. Віброударна обробка деталей заснована на використанні двох–або трикомпонентної вібрації, тобто механічних коливань відповідно за двома і трьома координатами.

Двокомпонентна, тобто площинна вібрація характеризується тим, що кожна точка робочої камери здійснює гармонійні коливання в одній площині – вертикальній, горизонтальній або похилій. У найбільш поширеному випадку траєкторія коливань при цьому має вигляд кола або еліпса [3].

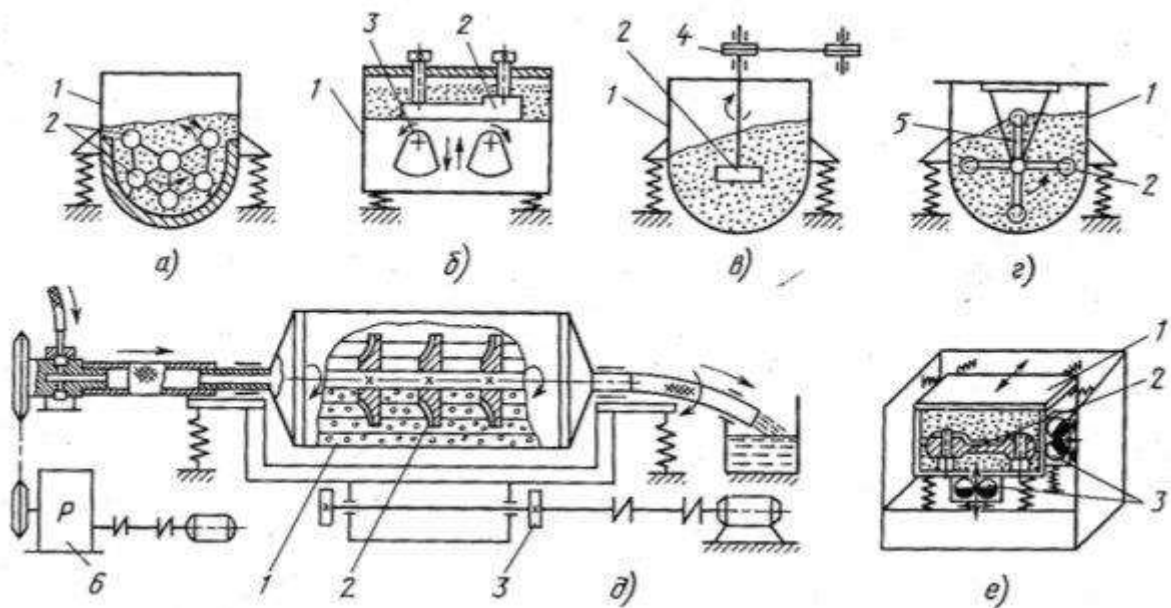
При трикомпонентній, або об'ємній вібрації кожна точка робочої камери здійснює гармонійні коливання по просторовій замкненій кривій з безперервною зміною напрямку переміщень щодо обраних осей координат. Траєкторія також має вигляд еліпса або кола, але безперервно змінює своє кутове положення. Швидкість і прискорення рухомої системи мають три напрямки, тому таку вібрацію прийнято називати трикомпонентною [3].

Застосування об'ємної вібрації дозволяє краще обробляти важкодоступні місця деталей складної замкнутої форми. Підбираючи робочі тіла з відповідними фізичними властивостями і розмірами і регулюючи режим вібрацій, можна забезпечувати широкий діапазон вирішуваних завдань по зміцненню деталей. Внаслідок високої відносної рухливості робочі тіла добре вписуються в фасонну поверхню деталей, за рахунок чого цим методом можна зміцнювати як зовнішні, так і внутрішні поверхні складних деталей різних розмірів [4].

В силу обмежених енергетичних можливостей тривалість зміцнення значна (від 10–20 хв до декількох годин), ймовірність перенаклепа деталей практично виключається.

Припустимі наклеп і залишкові напруги стиску при віброобробці залежать від способу завантаження деталей, складу і кількості робочих середовищ, напрямки дії траєкторії коливань, параметрів коливального процесу та інших факторів, змінюючи які, можна в певних межах управляти процесом зміцнення.

Інтенсивність зіткнення робочих тіл з оброблюваною деталлю під дією коливань залежить від різниці швидкостей робочих тіл і деталей. При обробці незакріплених деталей останні переміщуються в робочій камері разом з робочими тілами по круговій траєкторії (див. рис. 1.6), при цьому має менше значення, ніж при обробці закріплених деталей.



- 1 – контейнер; 2 – оброблювані деталі, 3 – віброзбудник; 4 – привід обертання оброблюваної деталі; 5 – пристрій, що забезпечує самообертання деталі; 6 – привід обертання контейнера з закріпленими в ньому деталями

Рисунок 1.6 – Схема віброударної обробки деталей з закріпленням в контейнері [4]

Основні варіанти обробки закріплених деталей наступні:

- в контейнері звичайного V-образного типу за допомогою настановних опор і касет (рис. 1.6, а);
- в спеціальних контейнерах коробчатого типу на спеціальних вібромашинах (рис. 1.6, б);

- на шпинделі з приводом його обертання від зовнішнього джерела (рис. 1.6, в);
- на кронштейні спеціального механізму, що забезпечує самообертання деталей (рис. 1.6, г);
- на оправці в контейнері, який примусово обертають від зовнішнього приводу (рис. 1.6, д);
- в контейнері спеціальної вібромашини з декількома віброзбудниками, розташованими у взаємно перпендикулярних площинах і забезпечують об'ємний характер коливань (рис. 1.6, е) [3].

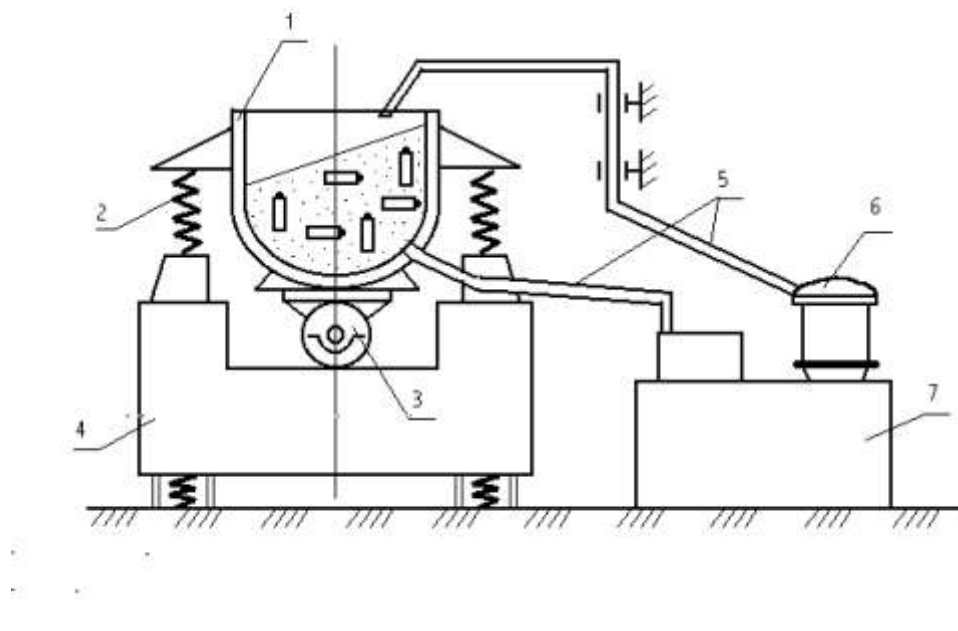
Закріплення деталі або весь контейнер при площинній вібрації обертають для того, щоб забезпечити рівномірну обробку всієї поверхні, так як в протилежному випадку робочі тіла, вільно переміщаючись по колу, будуть інтенсивно обробляти одну сторону деталей, а "тіньова" (по ходу переміщення робочих тіл) сторона буде оброблятися з меншою інтенсивністю [4]. Динаміка віброударної обробки закріплених деталей визначається взаємодією робочих тіл зі стінками (дном) контейнера і з закріпленими деталями. Коливання контейнера з прискоренням, у багато разів перевищує прискорення вільного падіння, забезпечує періодичний відрив робочих тіл від стінок (дна) контейнера, а також від закріплених деталей і зіткнення з ними під різними кутами. При зіткненні поверхні деталі з масою робочих тіл під прямим кутом відбувається ударна взаємодія, при цьому тривалість зіткнення поверхні деталі з робочими тілами збільшується [4].

Переваги вібраційної обробки перед іншими методами ППД [4]:

- зберігається цілісність волокон металу та утворюється дрібнозерниста структура в поверхневому шарі;
- відсутнє шаржування оброблюючої поверхні частинками абразивних зерен;
- відсутні термічні дефекти;
- забезпечується стабільна якість поверхні;

- можливість досягнення мінімальних висотних параметрів шорсткості поверхні, зберігаючи вихідну форму заготовки;
- створюється сприятлива форма мікронерівностей з більшою долею опорної площини;
- можливість створювати регулярні мікрорельєфи з заданою площиною та топографією заглиблень для утримання мастильного матеріалу;
- виникають сприятливі стискаючі напруження в поверхневому шарі;
- плавно та стабільно підвищується мікротвердість поверхні [4].

Базова схема віброударної обробки з її різновидами має характерні ознаки багатоконтактної обробки, де роль інструмента виконує вібруюче середовище металевих частинок (кульки, ролики, тіла інших форм). Схема процесу представлена на рисунку 1.7.



1 – робоча камера; 2 – пружини; 3 – інерційний вібратор; 4 – основа; 5 – шланги для подачі і зливу мастильно-охолоджувальної рідини (МОР); 6 – помпа; 7 – бак-відстійник

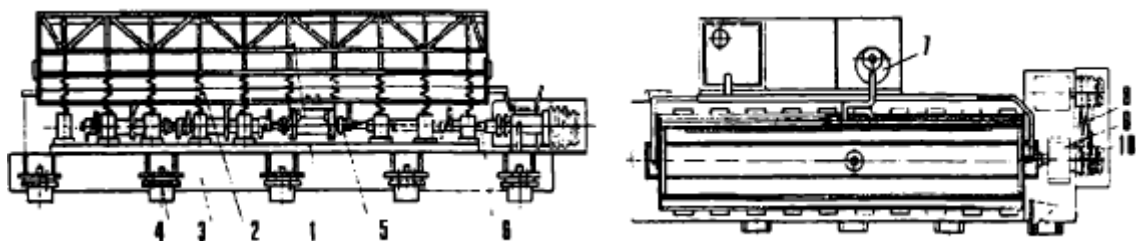
Рисунок 1.7 – Схема процесу віброударної обробки [5]

В робочу камеру 1 завантажуються оброблювані деталі і робоче середовище. Робоча камера закріплена на пружинах 2 і може здійснювати коливальний рух за допомогою інерційного вібратора 3 з частотою до 50 Гц і амплітудою від 0,5 до 6–8 мм, ця конструкція встановлена на основі 4.

В процесі обробки деталі і частки робочого середовища здійснюють два види руху: коливання і повільне обертання всієї маси завантаження (циркуляційний рух). Від стінок робочої камери вібрація передається прилеглим верствам робочого середовища, які повідомляють її наступним верствам. Обсяг робочої камери може змінюватися від 0,1 дм³ до декількох м³.

Вібраційна обробка проводиться з використанням МОР, яка подається помпою 6 за допомогою шлангів для подачі і зливу мастильно–охолоджувальної рідини 5. У баку–відстійнику 7 відбувається заміна МОР в процесі обробки [5].

На рисунку 1.8 розроблена багатоваріантна технологічна схема віброударної обробки довгомірних деталей довжиною до 2000 мм.



- 1 – контейнер; 2 – спіральні пружини; 3 – основа; 4 – амортизатор;
5 – вібратори; 6 – вал привода з карданом; 7 – бак–відстійник; 8 – клинопасова передача; 9 – привід; 10 – змінний шків

Рисунок 1.8 – Обробка довгомірних деталей довжиною до 2000 мм [1]

Також схема для віброударної зміцнюючої обробки довгомірних деталей складної форми має багато різновидів, основні з них показані на рисунку 1.9.

Схема (рис. 1.9, а) передбачає обробку зовнішньої поверхні з використанням багатоконтактного віброударного інструмента кульково–

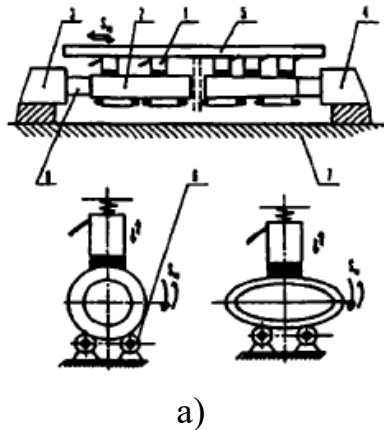
стрижньового зміцнювача (КСЗ). Відмінною особливістю цієї схеми є достатньо високі енергетичні параметри, широкий діапазон регулювання сил ударних імпульсів, шорсткості поверхні, висока продуктивність за рахунок багатоінструментальної обробки.

Схема (рис. 1.9, б) заснована на використанні віброударної обробки зовнішньої поверхні в середовищі сталевих або твердосплавних тіл з регулюючою щільністю. Ця технологічна схема також має можливість регулювати динамічні параметри за рахунок змінення амплітудно–частотних характеристик віброударної системи та досягати високої продуктивності за рахунок введення в систему декількох робочих камер.

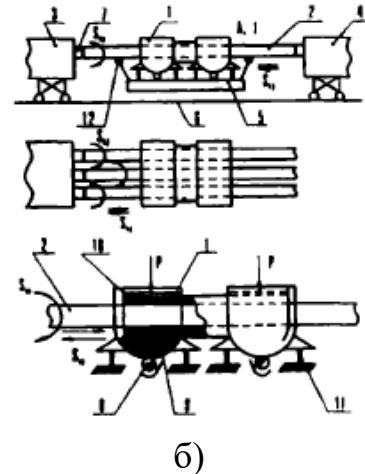
Схема (рис. 1.9, в) призначена для обробки внутрішньої поверхні на основі використання конструкції багатозубого клинового зміцнювача (КЗ).

Схема (рис. 1.9, г, д) призначена для одночасної обробки зовнішньої та внутрішньої поверхонь довгомірних деталей на основі схем (рис. 1.8, а, б).

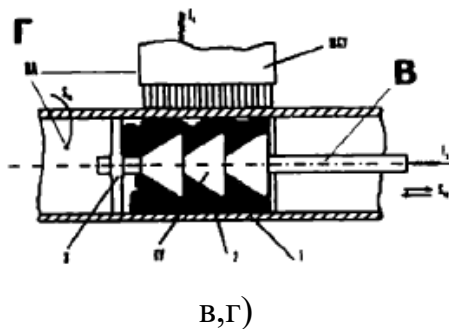
Схема (рис. 1.9, д) призначена для одночасної обробки зовнішньої та внутрішньої поверхонь довгомірної деталі зі складним профілем поперечного перерізу. Ця схема отримала назву «транспортно–обробляючої технологічної системи» (ТОТС) віброударної обробки. Її особливістю є суміщення обробки та транспортування робочого середовища (інструмента) що, як відомо, характеризує найбільш високий клас продуктивності [1].



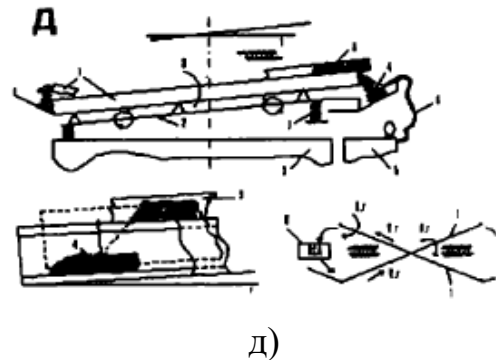
1 – інструмент (КСЗ); 2 – деталь; 3 – привід кругової подачі; 4 – задня бабка; 5 – блок поздовжньої подачі; 6 – опорний ролик; 7 – основа; 8 – технологічний наконечник



1 – робоча камера; 2 – деталь; 3 – привід подач (передня бабка); 4 – задня бабка; 5 – блок поздовжньої подачі; 6 – напрямна; 7 – технологічний наконечник; 8 – вібратор; 9 – робоче середовище; 10 – відсікач робочого середовища; 11 – пружина; 12 – підтримуючий ролик



1 – деталь; 2 – робоче середовище; 3 – обмежувач; КЗ – клиновий зміцнювач; КСЗ – кульково-стрижньовий зміцнювач



1 – деталь; 2 – віброплатформа; 3 – основа; 4 – робоче середовище; 5 – бак-відстійник; 6 – система циркуляції технологічної рідини; 7 – пружини; 8 – контрольно-сортувальний апарат

Рисунок 1.9 – Технологічні схеми віброударної обробки довгомірних деталей (а – обробка зовнішньої поверхні деталі багатоконтактним кульковим інструментом (кульково-стрижньовий зміцнювач – КСЗ); б – обробка зовнішньої поверхні на основі базової схеми з використанням прохідних робочих камер; в,г – обробка зовнішньої та внутрішньої поверхонь за допомогою КЗ та КСЗ; д – обробка зовнішньої та внутрішньої поверхонь шляхом транспортування обробляючого середовища) [1]

1.4 Аналіз основних параметрів процесу віброударної обробки

Основними параметрами процесу віброударної обробки є динамічні та тимчасові параметри, які визначають фізико–механічні характеристики зміцненого шару та шорсткість поверхні, сили та енергію зіткнення, тривалість обробки, визначення яких проводиться за допомогою приведених нижче рівнянь [1].

Сила та енергія зіткнення за формулами (1.1) та (2.2) [1]:

$$F = 6 \cdot \sqrt{\frac{m_{\text{ч}} \cdot V_{\text{ч.р.с.}}^2 \cdot \sigma_s \cdot R_{\text{к}} \cdot K_{\text{т}} \cdot K_{\text{д}}}{K_2}} \cdot \left(1 - \frac{3}{8} \cdot K^2\right) \quad (1.1)$$

$$E_y = \frac{HB \cdot d_{\text{отп}}^4}{6 \cdot D_{\text{ш}}} \quad (1.2)$$

де $m_{\text{ч}}$ – зведена маса частинок середовища;

$V_{\text{ч.р.с.}}$ – швидкість зіткнення інструмента та деталі;

σ_s – межа плинності матеріалу деталі;

$R_{\text{к}}$ – радіус кульки;

$K_{\text{т}}$ – коефіцієнт, що враховує одночасність дії стовпа частинок середовища;

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, що враховує демпфуючі властивості системи;

K_2 – коефіцієнт повторних ударів;

K – коефіцієнт відновлення;

HB – твердість обробляючого матеріалу;

$d_{\text{отп}}$ – діаметр пластичного відбитку;

$D_{\text{ш}}$ – діаметр кульки.

Тривалість обробки за формулою (1.3) [1]:

$$t' = \frac{1,9 \cdot d_{\text{ч.р.с.}} \cdot K_{\text{пер}} \cdot K_2}{\sqrt{F/2} \cdot \sigma_s \cdot n_k \cdot K_N} \quad (1.3)$$

де $d_{\text{ч.р.с.}}$ — діаметр частинок робочого середовища;

K_N — коефіцієнт, що враховує кількість зіткнень, що супроводжується створенням слідів обробки (пластичних відбитків).

Величина енергії, необхідна для отримання потрібної мікротвердості та глибини наклепаного шару при даній технологічній схемі, визначається за формулами (1.4) та (1.5).

Для досягнення мікротвердості H_μ [1]:

$$E_{(H\mu)} = \frac{\pi \cdot D_{\text{ш}}^3 \cdot H_\mu^4 \cdot (K_d \cdot K_l \cdot K_T)^4}{32 \cdot K_{H\mu} \cdot t^4} \quad (1.4)$$

де K_d — коефіцієнт, що враховує діаметр кульки;

$K_{H\mu}$ — коефіцієнт, що враховує рівень мікротвердості.

Для досягнення глибини наклепу h_μ [1]:

$$E_{(h\mu)} = \frac{H_\mu^4 \cdot (K_d \cdot K_l \cdot K_T)^4}{32 \cdot D_{\text{ш}} \cdot K_{h\mu}^4 \cdot (1,54 - HB \cdot 10^{-5}) \cdot t^4} \quad (1.5)$$

де $K_{h\mu}$ — емпіричний коефіцієнт, що враховує глибину наклепу.

Енергія, необхідна для формування шорсткості визначається за формулою (1.6) [1]:

$$E_{(Rz)} = \frac{0,5 \cdot \pi \cdot d_{\text{ш}} \cdot HB \cdot (R_z^{2'} - R_z^2)}{(K_d \cdot K_{Rz} \cdot K_t)^2 \cdot (K(T))^2} \quad (1.6)$$

де $R_z^{2'}$ – шорсткість вихідної поверхні;

R_z^2 – шорсткість поверхні після обробки;

K_{Rz} – коефіцієнт, що враховує вихідну шорсткість;

K_t – коефіцієнт, що враховує час обробки.

1.5 Схема одночасного зміцнення внутрішньої та зовнішньої поверхонь лонжерона

На заміну існуючої технології поетапної обробки за чотири переходи наразі використовується технологія одночасної обробки зовнішньої та внутрішньої поверхонь за один перехід.

Одночасне зміцнення зовнішньої та внутрішньої поверхонь лонжерону проводились на спеціальній установці для віброзміцнення, зображеній на рисунку 1.10.

Установка представляє собою вібраційну машину зарезонансного типу, призначену для зміцнення зовнішніх і внутрішніх поверхонь на довгомірних деталей типу лонжерон лопаті несучого гвинта. Робочим органом установки є рухома платформа. Коливальні рухи платформи порушуються інерційним вібратором з невідновженими вантажами.

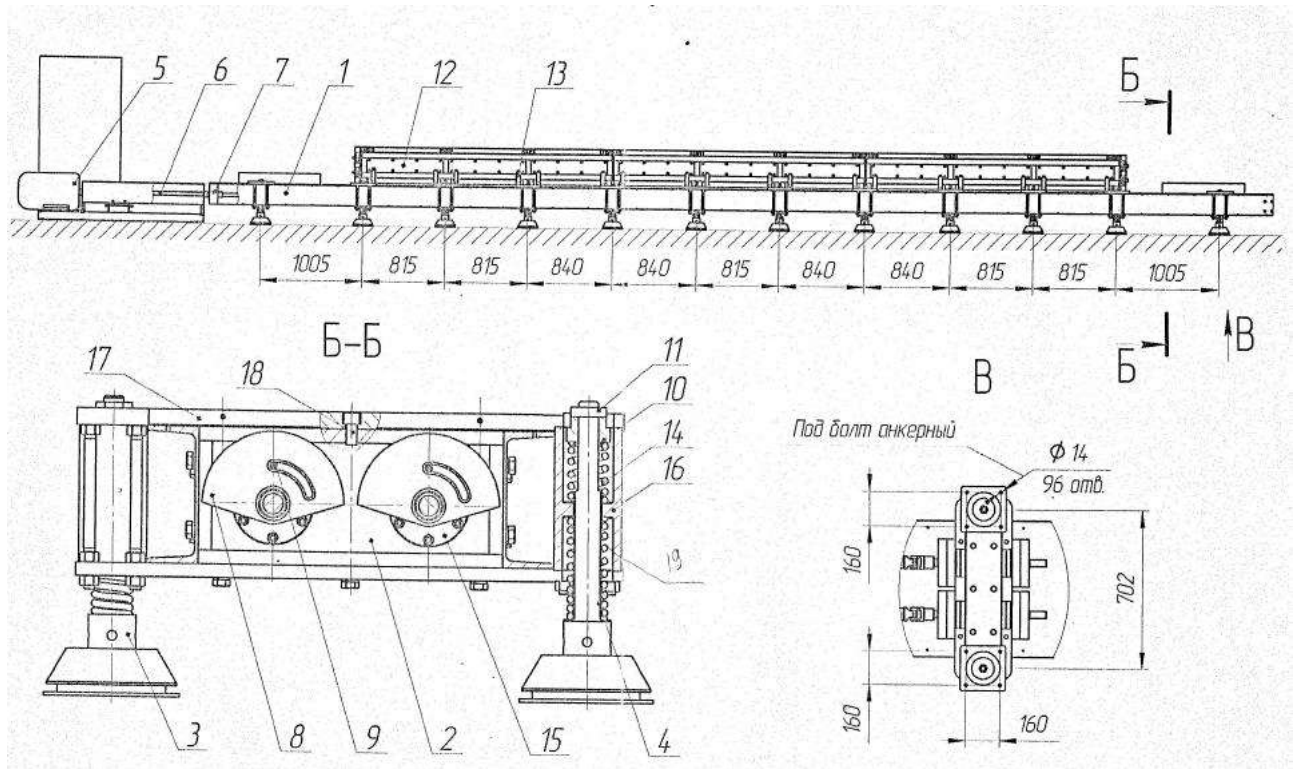


Рисунок 1.10 – Загальний вигляд вібраційної установки для зміцнення лонжерону лопатей гвинта

Установка складається з платформи 1 (рис. 1.9), де змонтовані дебалансні вібратори 2 і стійки 3 з пружними елементами 4. Стійки жорстко кріпляться до фундаменту, утворюючи нерухому опору платформи. Від електродвигуна 5 крутний момент через вал карданний 6 передається на синхронізатор 7 і далі до кожного вібратора, з'єднаних між собою карданними валами. Зустрічний напрямок обертання валів дебалансних вібраторів забезпечує синхронізатор. Зміщенням секторів 8 відносно один одного, та їх фіксацією в потрібному положенні гвинтами 9 здійснюється регулювання невідновленої маси на дебалансах вібраторів. Регулювання амплітуди вібрації від 1 до 5 мм роблять по всіх стойках спеціальною гайкою 10, створюючи при цьому необхідний попередній натяг в пружних елементах. Розрізний гайкою 11 забезпечується фіксація у потрібному положенні.

До складу установки входить пульт управління, з якого регулюється частота вібрації, при цьому амплітудно-частотні характеристики повинні бути стабільними, перебуваючи в межах допустимих технологічних вимог.

Для обробки лонжерона його поміщають у вібробункер 12, який закріплений на платформі притисками 13.

Потім встановлюють у певне місце зразки свідки (рис. 1.11). Кріплення здійснюється гвинтами з гайками через вібробункер 12. Зразки-свідки використовують при обробці кожного лонжерона. До складу установки входить два вібробункери (кожен із комплектом зразків-свідків).

Через засипані горловини вібробункера 12 засипають на оброблювані поверхні сталеві кульки. Висипання кульок при обробці запобігають заглушкам на засипні горловини.

За допомогою спеціального пристрою перевертають у робоче положення №1 (90° від положення завантаження). Після обробки здійснюють переустановлення положення №2 (180° від положення №1). Після переверотів вібробункер закріплюють до платформи притисками 13.

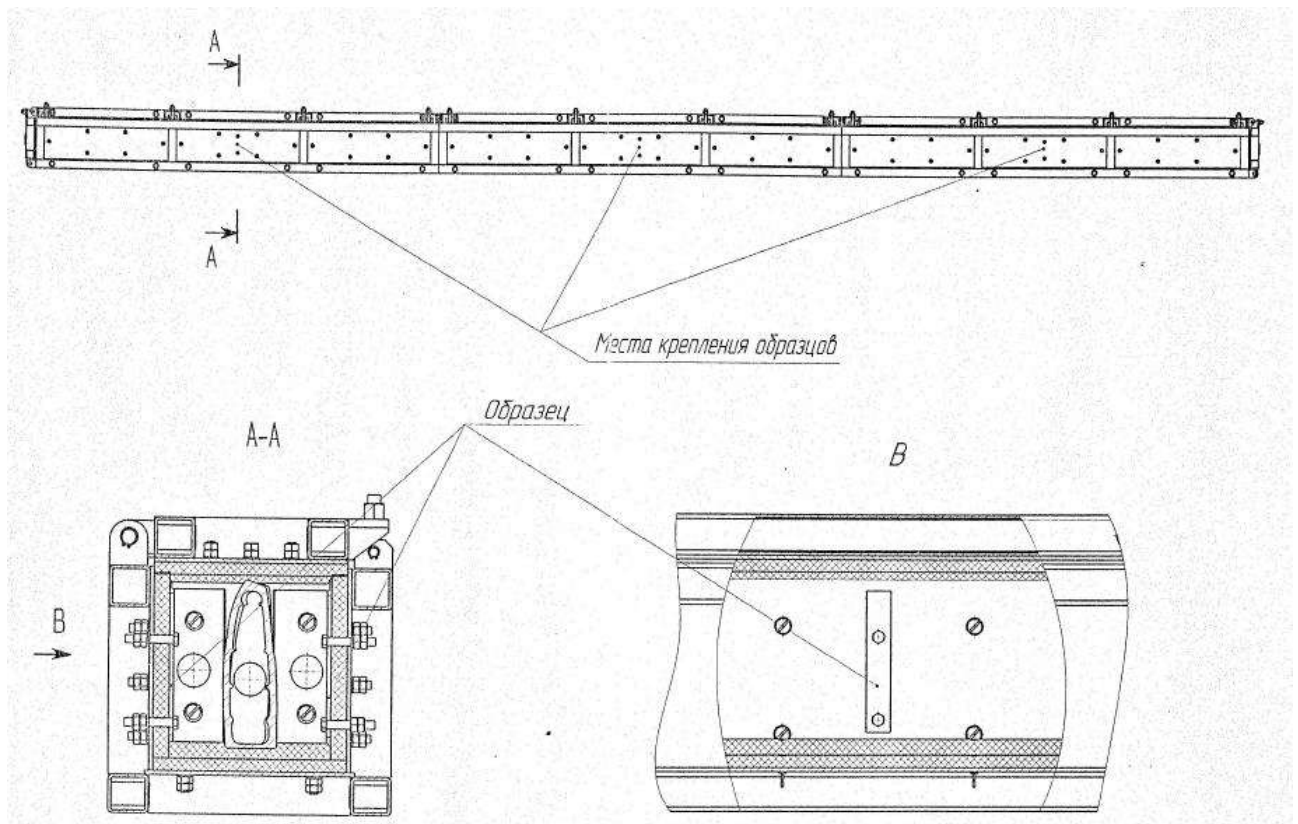


Рисунок 1.11 – Схема розташування зразків-свідків на лонжероні

2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Зміцнення зовнішньої та внутрішньої поверхонь лонжерону проводились на спеціальній установці для віброзміцнення, зображеній на рисунку 1.10.

Лонжерони надходять на зміцнення відповідно до вимог креслення та технічних умов.

Зразки-свідки із алюмінієвих сплавів повинні виконуватися розмірами 100x19x2 мм (рис. 2.1). Допускається зменшення зразків-свідків за товщиною трохи більше 0,1 мм.

Зразки-свідки встановлюються у робочому бункері на передбачені для цього місця (рис. 1.11).

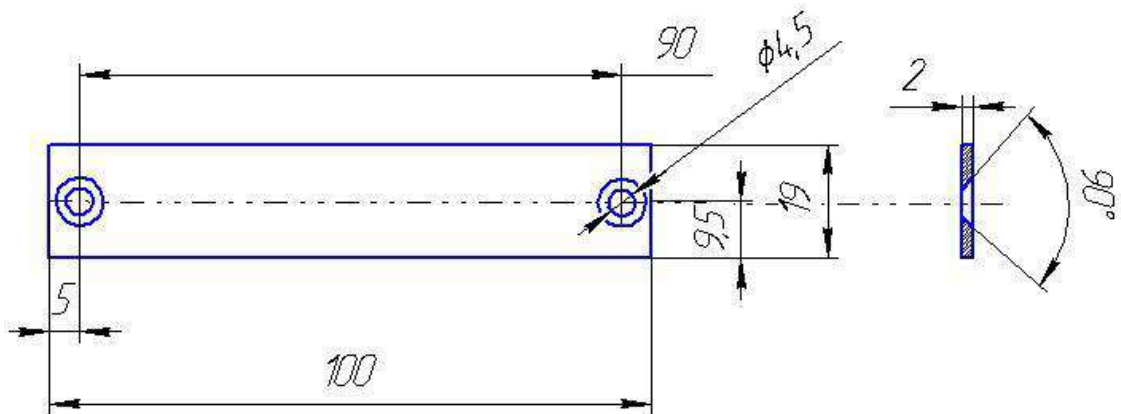


Рисунок 2.1 – Зразок – свідок

Інтенсивність зміцнення контролюють за величиною прогину зразків-свідків. Величина прогину має бути $1,1^{+0,3}$ мм на довжині $l = 100$ мм.

Кількість зразків-свідків – не менше 3 штук на кожну поверхню, що обробляється. Для контролю процесу зміцнення деталей із алюмінієвих сплавів зразки-свідки виготовляються з листового матеріалу АК4-1АТ1 або Д16АТ зі знятим планованим шаром хімфрезеруванням або фрезеруванням із заготовок. Текстурні волокна мають бути спрямовані вздовж великого розміру зразка. Зразок-свідок, закріплений на зовнішній поверхні лонжерону, показаний на рисунку 2.2.



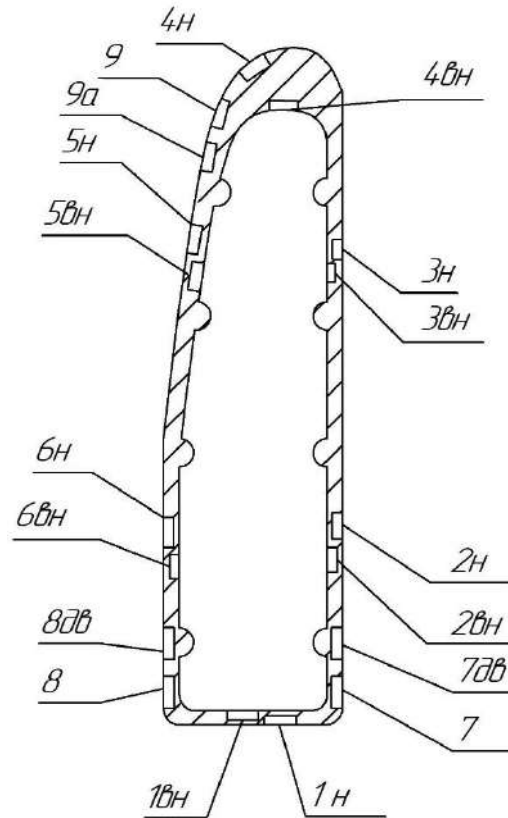
Рисунок 2.2 – Зразок–свідок, закріплений на деталі

Залишкові напруження визначались механічним методом шляхом безперервного електролітичного травлення на приладі ПІОН–2М.

Визначення залишкових напружень полягає у знаходженні епюри деформацій зразка при послідовному електролітичному стравлюванні матеріалу поверхневого шару і подальшому розрахунку розподілу залишкових напружень по глибині стравленого шару. Досліджуваний зразок закріплюється у пристосуванні та занурюється у ванну з електролітом на глибину приблизно рівну половині висоти поперечного перерізу. До середини зразка підводиться щуп вимірювача мікропереміщень, що фіксує деформацію F , що виникає при знятті напружених шарів матеріалу. Після цього проводиться електролітичне травлення обробленої поверхні на глибину h з одночасною реєстрацією деформацій зразка.

На основі отриманих значень будується епюра залишкових напружень в координатах напруга – глибина шару.

Зразки для досліджень вирізали на електроерозійному верстаті за схемою на рисунку 2.3.



Н – зовнішня поверхня; ВН – внутрішня поверхня; 7 та 8 – місця близько до ребра (блискуча поверхня); 7дв та 8дв – місця перекриття (темна поверхня); 9 – місце перекриття ближче до краю (блискуча поверхня); 9а – місце перекриття (темна поверхня)

Рисунок 2.3 – Схема вирізки зразків для дослідження залишкових напружень

Для дослідження впливу часу обробки амплітуди та частоти коливань на мікротвердість та шорсткість поверхні застосовувалися такі контрольно–вимірювальні прилади:

1. Профілограф–профілометр мод. 201 для визначення шорсткості.
2. Мікротвердомір ПМТ–3 для визначення мікротвердості.

Вимір розміру пластичного відбитка здійснювався за загальноприйнятою методикою за допомогою відповідних вимірювальних приладів та інструментів, що застосовуються для визначення твердості за Брінеллем. Вимірювання шорсткості проводилося профілограф–профілометром мод. 201.

Вимір мікротвердості проводився на приладі ПМТ–3. Метод вимірювань мікротвердості заснований на вдавлюванні в поверхневий шар досліджуваного зразка алмазної піраміди під дією навантаження P , прикладеного протягом певного часу. Після зняття навантаження вимірюються діагоналі квадратного відбитка поверхні зразка.

Число твердості (H_μ в кгс/мм²) визначається шляхом ділення навантаження P на умовну площу бокової поверхні отриманого відбитку за наступною формулою [1]:

$$H_\mu = \frac{2 \cdot P \cdot \sin \alpha / 2}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2} \quad (2.1)$$

де P – навантаження на піраміду, кгс;

α – кут між протилежними границями піраміди при вершині, дорівнює 136°;

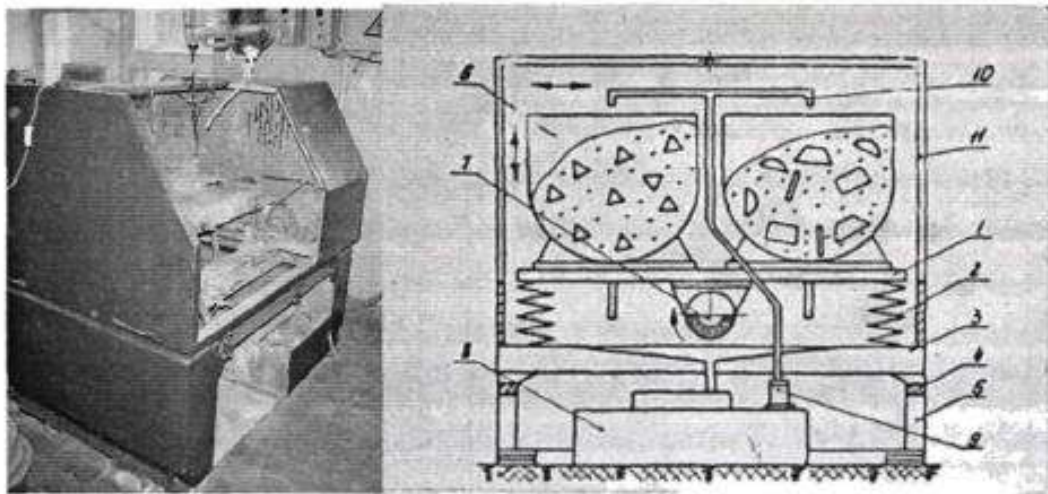
d – середнє арифметичне значення довжини обох діагоналей відбитку після зняття навантаження, мм.

В якості робочого середовища використовували кульки діаметром $d = 7$ мм зі сталі ШХ–15.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Визначення характеристик поверхневого шару внутрішньої поверхні лонжерону

Серія експериментів направлена на визначення характеристик поверхневого шару проведена на установці УВГ 4х10 (рис. 3.1) [1].



- 1 – платформа; 2 – спіральні пружини; 3 – рама; 4 – амортизатори; 5 – каркас;
6 – робоча камера; 7 – вібратор; 8 – баки-відстійники; 9 – насос;
10 – трубопровід; 11 – звукопоглинаючий кожух

Рисунок 3.1 – Конструктивна схема установки УВГ 4х10 [1]

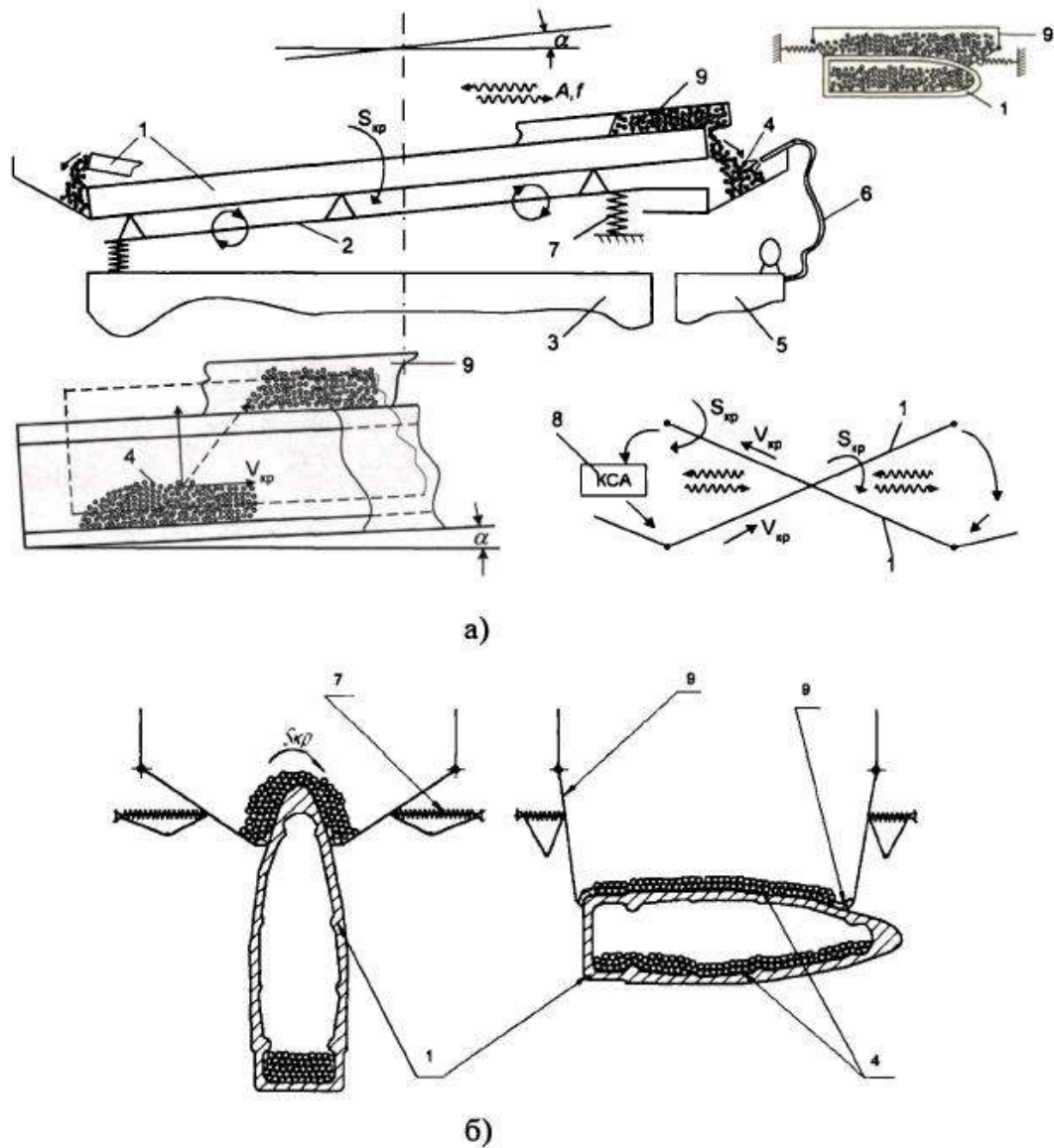
Вібраційний верстат складається з платформи 1, встановленої на спіральних пружинах 2 на нерухомій рамі 3, залитої для збільшення маси бетоном. Рама 3 встановлена на гумові амортизатори каркаса 5. На платформі 1 містяться чотири робочі камери. Робочі камери U – подібної форми. Знизу до платформи 1 кріпиться вібратор 7, основною частиною якого є статично невіднований ротор, з'єднаний через гумову муфту з приводом верстата. Швидкість обертання вібратора ротора змінюється за допомогою ступінчастих шківів, модуль вимушує сили при незмінній швидкості обертання

регулюється статичним моментом маси дебалансів щодо осі обертання. Для зниження шуму верстат закритий кожухом 11 [1].

Випробування проводили на основі аналізу існуючої схеми обробки лонжерона з наступною розробкою технологічної системи, що використовує ефект вібротранспортування середовища сталевих кульок по оброблячій поверхні [1].

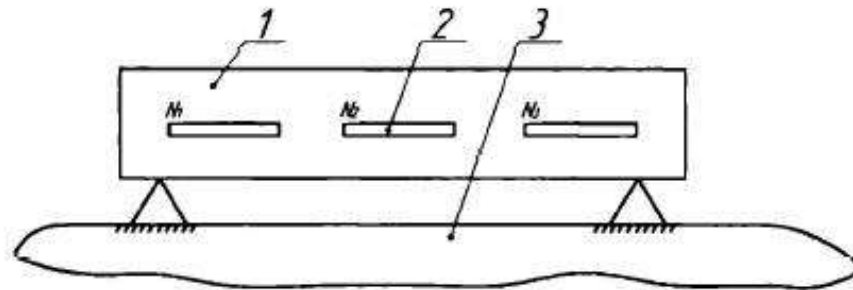
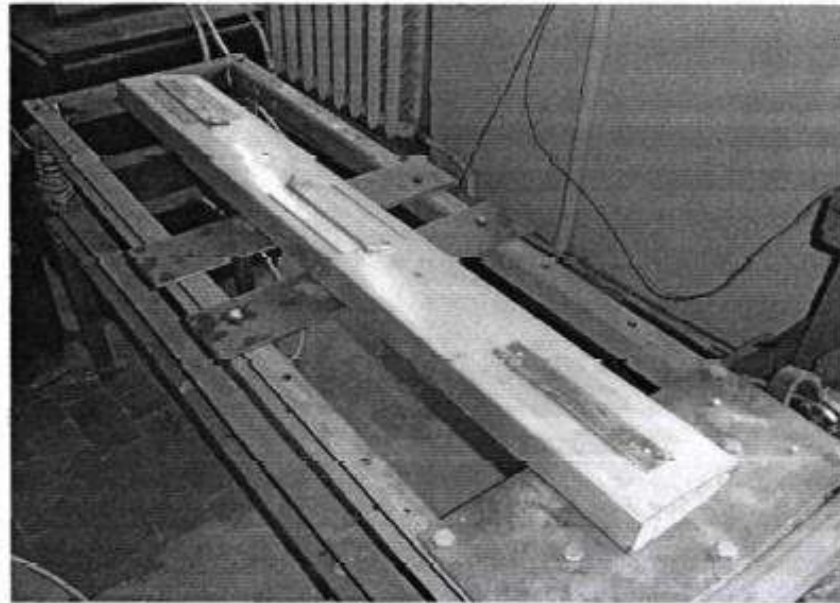
Схема обробки внутрішньої поверхні лонжерона представлена на рисунку 3.2. В основі цієї схеми використано процес вібраційного транспортування сипучих середовищ. В даному випадку деталь, що обробляється (її внутрішня поверхня) є транспортуючим середовищем сталевих кульок. Обробці піддають одночасно два лонжерони, розташовані хрест на хрест один відносно одного, та розташовані під кутом α до горизонтальної площини. Кут нахилу вібруючої платформи α менше кута тертя, тому робоче середовище здійснює прискорений рух вгору вздовж поверхня, що обробляється. Вся система виконує примусові коливання від ексцентрикового приводу. Здійснення режиму коливань з підкиданням середовища сталевих кульок забезпечує віброударну дію на поверхню, що обробляється та досягає зміцнювального ефекту [1].

Експериментальні дослідження обробки внутрішньої поверхні лонжерону лопаті вертольота проводилися на спеціальній вібраційній установці (рис. 3.3) за схемою ТОТС.



1 – деталь, що обробляється; 2 – віброплатформа; 3 – основа; 4 – робоче середовище; 5 – бак відстійник; 6 – система циркуляції рідини; 7 – пружини; 8 – контрольно-сортувальний автомат; 9 – накладна робоча камера

Рисунок 3.2 – Технологічна схема одночасної обробки зовнішньої та внутрішньої поверхонь лонжерона (а – загальний вигляд; б – поперечний переріз) [1]



1 – імітаційна модель; 2 – зразки-свідки; 3 – вібромайданчик

Рисунок 3.3 – Спеціальна вібраційна установка [1]

Режими обробки:

- частота коливань – $f=35$ Гц;
- амплітуда коливань:
1-й зразок – $A_{\text{лів}}=2,5$ мм; 2-й – $A_{\text{сер}}=1,0$ мм; 3-й – $A_{\text{пр}}=1,5$ мм.
- матеріал зразків – алюмінієвий сплав АВТ-1.
- робоче середовище – сталі кульки діаметром 7 мм;

Параметри, що контролюються:

- шорсткість поверхні – R_a (мкм);
- мікротвердість поверхневого шару – H_μ (МПа).

У процесі експериментів час обробки становив 20, 60, 120, 180, 300 хвилин. Лонжерон встановлювався на вібротримачу спеціальної установки, але в його внутрішній поверхні кріпилися оброблювані зразки 1л, 2ср, 3пр (рис. 3.3).

де 1л – зразок, що встановлюється у лівій частині лонжерону;

2ср – зразок, що встановлюється в середній частині лонжерону;

3пр – зразок, що встановлюється у правій частині лонжерону.

Експеримент №1. Обробка за схемою ТОТС 20 хвилин

Мета – провести експериментальні дослідження обробки внутрішньої поверхні лонжерону. Результати експериментів представлені у таблиці 3.1 та таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Шорсткість поверхні Ra (експеримент №1) [1]

№ заміру	$Ra_{\text{вих}}$ 1л, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 1л, мкм	$Ra_{\text{вих}}$ 2ср, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 2ср, мкм	$Ra_{\text{вих}}$ 3пр, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 3пр, мкм
1	3,45	3,99	1,29	1,98	1,31	1,97
2	3,32	3,91	1,52	2,02	1,67	2,22
3	3,85	4,28	1,82	2,35	1,83	2,39
4	1,95	2,67	1,39	1,93	2,34	2,87
5	1,76	2,41	1,81	2,41	1,95	2,33
Середн.	2,86	3,45	1,56	2,13	1,82	2,35

Таблиця 3.2 – Мікротвердість поверхневого шару (експеримент №1) [1]

№ заміру	1	2	3	4	5	$H_{\mu \text{ ср}}$, МПа
$H_{\mu \text{ вих}}$, МПа	388,6	396,4	396,4	412	396,4	397,96
$H_{\mu \text{ обр}}$, МПа	392,2	400	400	442	400	406,84

Мікротвердість поверхневого шару зразків–свідків після обробки збільшилась на 2.2%.

Внаслідок цього експерименту після обробки зразків–свідків відзначається зростання шорсткості поверхні порівняно з її вихідним значенням.

За аналогією з першим експериментом були проведені експерименти №2, №3, №4, №5, в яких варіювався час обробки від 60 до 300 хвилин, а також контролювалися параметри: шорсткість поверхні та мікротвердість поверхневого шару [1].

Експеримент №2. Обробка за схемою ТОТС 60 хв.

Мета – провести експериментальні дослідження обробки внутрішньої поверхні лонжерону. Результати експериментів представлені у таблиці 3.3.

У таблиці 3.4 представлені результати вимірювання вихідної мікротвердості поверхневого шару і мікротвердість і після обробки зразків.

Розкид вихідної мікротвердості поверхневого шару 388,6 – 412 МПа, а після обробки – 396,4 – 466,8 МПа.

Мікротвердість поверхневого шару зразків–свідків після обробки збільшилась на 5.2%.

Таблиця 3.3 – Шорсткість поверхні R_a (експеримент №2) [1]

№ заміру	$R_{a_{вих}}$ 1л, мкм	$R_{a_{обр}}$ 1л, мкм	$R_{a_{вих}}$ 2сп, мкм	$R_{a_{обр}}$ 2сп, мкм	$R_{a_{вих}}$ 3пр, мкм	$R_{a_{обр}}$ 3пр, мкм
1	1,65	1,74	1,77	1,84	1,64	1,89
2	1,79	2,12	1,74	2,32	2,01	2,61
3	1,55	2,45	1,73	1,99	1,99	2,44
4	1,97	2,51	1,71	2,13	1,67	2,17
5	2,00	2,42	1,63	2,47	1,78	2,46
Середн.	1,792	2,248	1,716	2,150	1,818	2,314

Таблиця 3.4 – Мікротвердість поверхневого шару (експеримент №2) [1]

№ заміру	1	2	3	4	5	$H_{\mu \text{ ср}}$, МПа
$H_{\mu \text{ вих}}$, МПа	388,6	396,4	396,4	412	396,4	397,96
$H_{\mu \text{ обр}}$, МПа	396,4	412	412	466,8	412	419,84

Експеримент №3. Обробка за схемою ТОТС 120 хв.

Мета – провести експериментальні дослідження обробки внутрішньої поверхні лонжерону. Результати експериментів представлені у таблиці 3.5.

У таблиці 3.6 представлені результати вимірювання вихідної мікротвердості поверхневого шару і мікротвердість і після обробки зразків.

Розкид вихідної мікротвердості поверхневого шару 404,2 – 430 МПа, а після обробки – 412 – 448,2 МПа.

Мікротвердість поверхневого шару зразків–свідків після обробки збільшилась на 4%.

Таблиця 3.5 – Шорсткість поверхні Ra (експеримент №3) [1]

№ заміру	$Ra_{\text{вих}}$ 1л, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 1л, мкм	$Ra_{\text{вих}}$ 2ср, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 2ср, мкм	$Ra_{\text{вих}}$ 3пр, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 3пр, мкм
1	2,69	2,90	2,73	3,08	2,62	2,96
2	2,28	2,76	2,92	3,22	2,42	3,12
3	2,37	2,98	2,95	3,16	2,47	2,86
4	2,41	3,02	2,81	2,97	2,92	3,24
5	2,76	3,14	2,89	3,18	2,58	3,11
Середн.	2,50	2,96	2,86	3,12	2,60	3,05

Таблиця 3.6 – Мікротвердість поверхневого шару (експеримент №3) [1]

№ заміру	1	2	3	4	5	$H_{\mu \text{ ср}}$, МПа
$H_{\mu \text{ вих}}$, МПа	430	404,2	412	421	430	419,44
$H_{\mu \text{ обр}}$, МПа	448,2	412	430	448,2	448,2	437,32

Експеримент №4. Обробка за схемою ТОТС 180 хв.

Мета – провести експериментальні дослідження обробки внутрішньої поверхні лонжерону. Результати експериментів представлені у таблиці 3.7.

У таблиці 3.8 представлені результати вимірювання вихідної мікротвердості поверхневого шару і мікротвердість і після обробки зразків.

Розкид вихідної мікротвердості поверхневого шару 404,2 – 430 МПа, а після обробки – 412 – 457,5 МПа.

Мікротвердість поверхневого шару зразків–свідків після обробки збільшилась на 6,4%.

Таблиця 3.7 – Шорсткість поверхні R_a (експеримент №4) [1]

№ заміру	$Ra_{\text{вих}}$ 1л, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 1л, мкм	$Ra_{\text{вих}}$ 2ср, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 2ср, мкм	$Ra_{\text{вих}}$ 3пр, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 3пр, мкм
1	2,69	3,28	2,73	3,20	2,62	3,01
2	2,28	3,30	2,92	3,31	2,42	2,98
3	2,37	3,06	2,95	3,11	2,47	2,92
4	2,41	3,17	2,81	2,95	2,92	3,35
5	2,76	3,14	2,89	3,21	2,58	3,21
Середн.	2,50	3,19	2,86	3,15	2,60	3,09

Таблиця 3.8 – Мікротвердість поверхневого шару (експеримент №4) [1]

№ заміру	1	2	3	4	5	$H_{\mu \text{ ср}}$, МПа
$H_{\mu \text{ вих}}$, МПа	412	404,2	412	421	430	415,84
$H_{\mu \text{ обр}}$, МПа	448,2	412	448,2	457,5	457,5	444,68

Експеримент №5. Обробка за схемою ТОТС 300 хвилин.

Мета – провести експериментальні дослідження обробки внутрішньої поверхні лонжерону. Результати експериментів представлені у таблиці 3.9.

У таблиці 3.10 представлені результати вимірювання вихідної мікротвердості поверхневого шару і мікротвердість і після обробки зразків.

Розкид вихідної мікротвердості поверхневого шару 412 – 430 МПа, а після обробки – 448,2 – 487 МПа.

Мікротвердість поверхневого шару зразків–свідків після обробки збільшилась на 8,8%.

Таблиця 3.9 – Шорсткість поверхні Ra (експеримент №5) [1]

№ заміру	$Ra_{\text{вих}}$ 1л, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 1л, мкм	$Ra_{\text{вих}}$ 2ср, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 2ср, мкм	$Ra_{\text{вих}}$ 3пр, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 3пр, мкм
1	1,93	2,96	2,70	3,31	2,36	3,12
2	2,58	3,21	2,95	3,28	2,51	3,02
3	1,89	3,16	2,60	3,09	2,43	3,36
4	1,91	2,98	2,42	2,99	2,89	2,97
5	1,90	3,22	2,36	3,17	2,92	3,28
Середн.	2,04	3,10	2,60	3,16	2,62	3,15

Таблиця 3.10 – Мікротвердість поверхневого шару (експеримент №5) [1]

№ заміру	1	2	3	4	5	$H_{\mu \text{ ср}}$, МПа
$H_{\mu \text{ вих}}$, МПа	412	421	421	412	430	419,20
$H_{\mu \text{ обр}}$, МПа	448,2	487	448,2	457,5	457,5	459,68

За результатами експериментів №1 – №5 за середніми значеннями шорсткості поверхні побудовано загальну діаграму розподілу шорсткості поверхні у вихідному стані зразків та після обробки протягом 20, 60, 120, 180, 300 хв відповідно (рис. 3.4). Аналогічно побудовано діаграму розподілу мікротвердості (рис. 3.5).

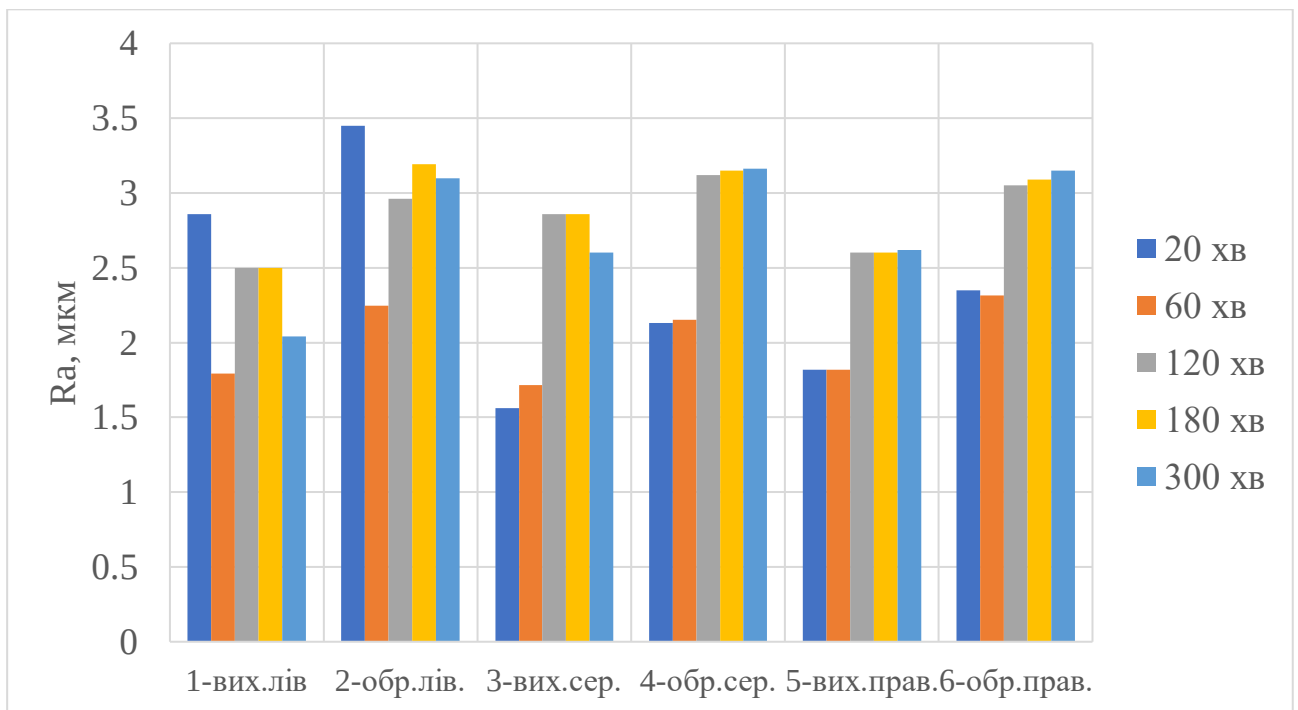


Рисунок 3.4 – Загальна діаграма розподілення середніх значень шорсткостей поверхонь зразків–свідків [1]

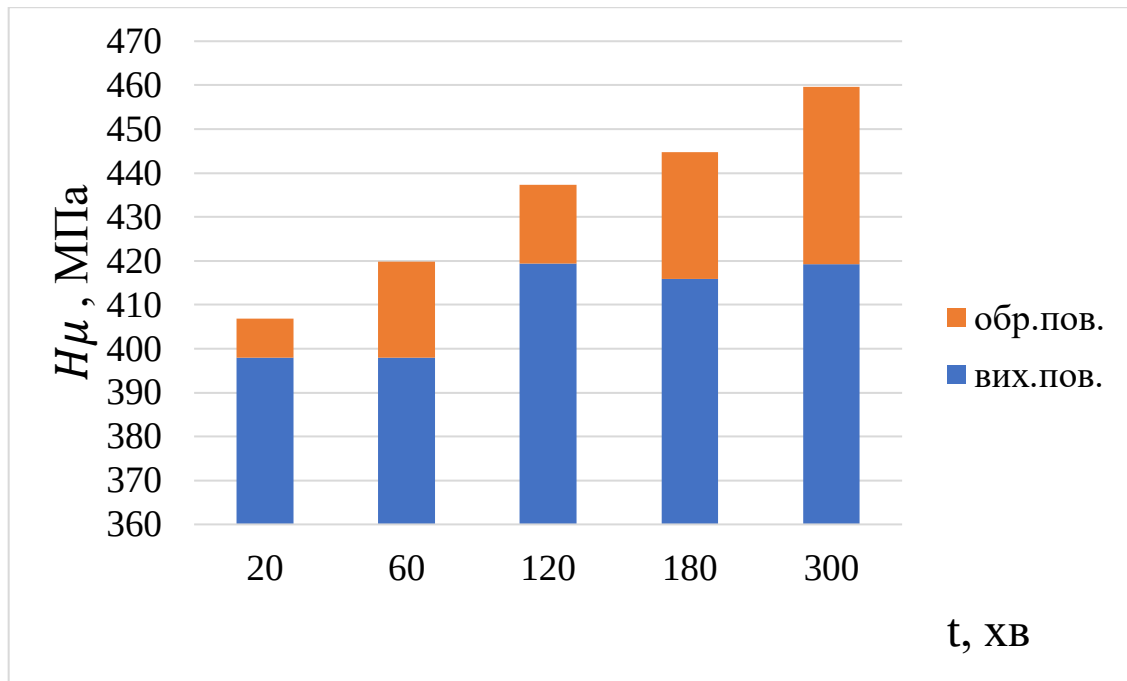


Рисунок 3.5 – Загальна діаграма розподілення середніх значень мікротвердості поверхонь зразків–свідків [1]

3.1.1 Висновки за результатами зміцнення внутрішньої поверхні

Таким чином, при випробуванні ТОТС внутрішньої поверхні лонжерону, можна зробити такі висновки:

1. Зі збільшенням часу обробки з 20 хв до 300 хв шорсткість поверхні збільшилась від 2,13 мкм до 3,16 мкм за рахунок утворення пластичних відбитків. Причому на зразку розташованому зліва спостерігається більший приріст, оскільки в цій частині імітаційної моделі амплітуда коливань більше, ніж на зразках встановлених у середній та правій частині лонжерону ($A_{\text{лів}}=2,5$ мм; $A_{\text{сеп}}=1,0$ мм; $A_{\text{пр}}=1,5$ мм).

2. За результатами експериментів відзначається збільшення мікротвердості поверхневого шару зразків від 419,2 МПа до 459,68 МПа (експеримент №5), що становить 8,8%.

3. За результатами вимірювання шорсткості, можна зробити висновок, що найоптимальніші значення отримані при зміцненні протягом 60 хвилин. Мікротвердість при цьому підвищилась на 5,2 %.

3.2 Визначення характеристик поверхневого шару зовнішньої поверхні лонжерону

Наступний експеримент обробки зовнішньої поверхні лонжерона лопаті вертольоту проведений на спеціальній вібраційній установці.

В процесі експерименту час обробки складав $t=60$ хв. Лонжерон встановлювався на вібромайданчику спеціальної установки, а на його зовнішній поверхні закріплені спеціальні зразки–свідки 1л, 2сер, 3пр. Далі за допомогою кріпильних елементів встановлювався спеціальний кожух, та в утворену площину засипаються кульки діаметром 7 мм (рис. 3.6) [1].

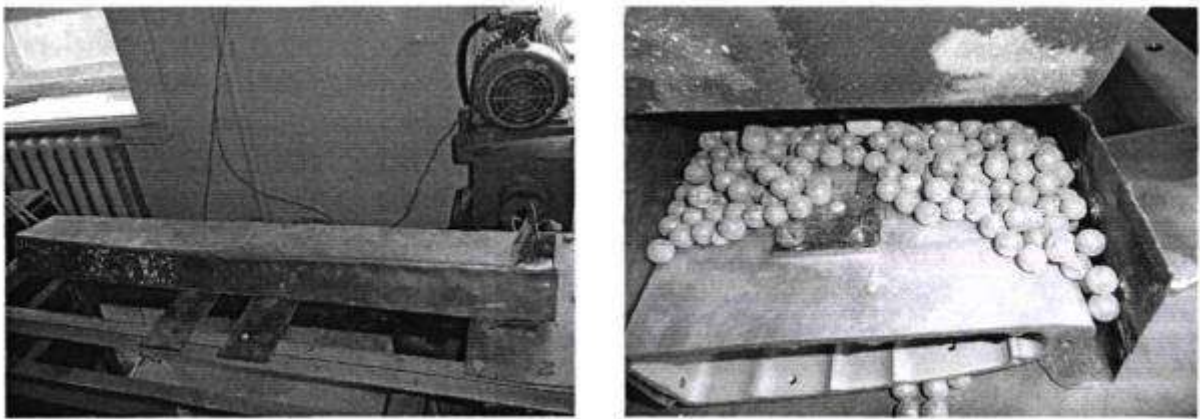


Рисунок 3.6 – Обробка зовнішньої поверхні лонжерону на спеціальній установці [1]

Експеримент №6. Обробка зовнішньої поверхні лонжерону впродовж $t=60$ хв.

Умови проведення експерименту:

Робоче середовище – сталеві кільки діаметром 7 мм.

Параметри, що контролюються:

- шорсткість поверхні – Ra (мкм);
- мікротвердість поверхневого шару – H_μ (МПа).

Результати експерименту представлені в таблиці 3.11 та на рисунку 3.6.

Таблиця 3.11 – Шорсткість поверхні Ra [1]

№ заміру	$Ra_{\text{вих}}$ 1л, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 1л, мкм	$Ra_{\text{вих}}$ 2ср, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 2ср, мкм	$Ra_{\text{вих}}$ 3пр, мкм	$Ra_{\text{обр}}$ 3пр, мкм
1	1,52	1,73	1,68	1,92	1,71	2,02
2	1,73	2,08	1,77	2,29	1,83	2,56
3	1,61	2,31	1,69	2,03	1,69	2,48
4	1,89	2,42	1,62	2,17	1,98	2,21
5	1,92	2,29	1,81	2,51	1,91	2,17
Середн.	1,73	2,16	1,71	2,18	1,82	2,29

На рисунку 3.6 представлена діаграма розподілення вихідної шорсткості поверхні та шорсткості після зміцнення зразків, що закріплені на зовнішній поверхні.

Середня шорсткість вихідної поверхні становить 1,71 – 1,82 мкм, а після обробки – 2,16 – 2,29 мкм.

В таблиці 3.12 показані результати вимірів вихідної мікротвердості поверхневого шару та мікротвердості після обробки зразків. За результатами вимірів побудована діаграма розподілення мікротвердості поверхневого шару (рис. 3.7).

Таблиця 3.12 – Мікротвердість поверхневого шару (експеримент №6) [1]

№ заміру	1	2	3	4	5	$H_{\mu \text{ ср}}$, МПа
$H_{\mu \text{ вих}}$, МПа	396,4	396,4	388,6	388,6	396,4	393,28
$H_{\mu \text{ обр}}$, МПа	412	412	412	412	466,8	422,96

Вихідна мікротвердість поверхневого шару складає 388,6 – 396,4 МПа, а після зміцнення – 412 – 466,8 МПа. Мікротвердість поверхневого шару після обробки збільшилась на 7%.

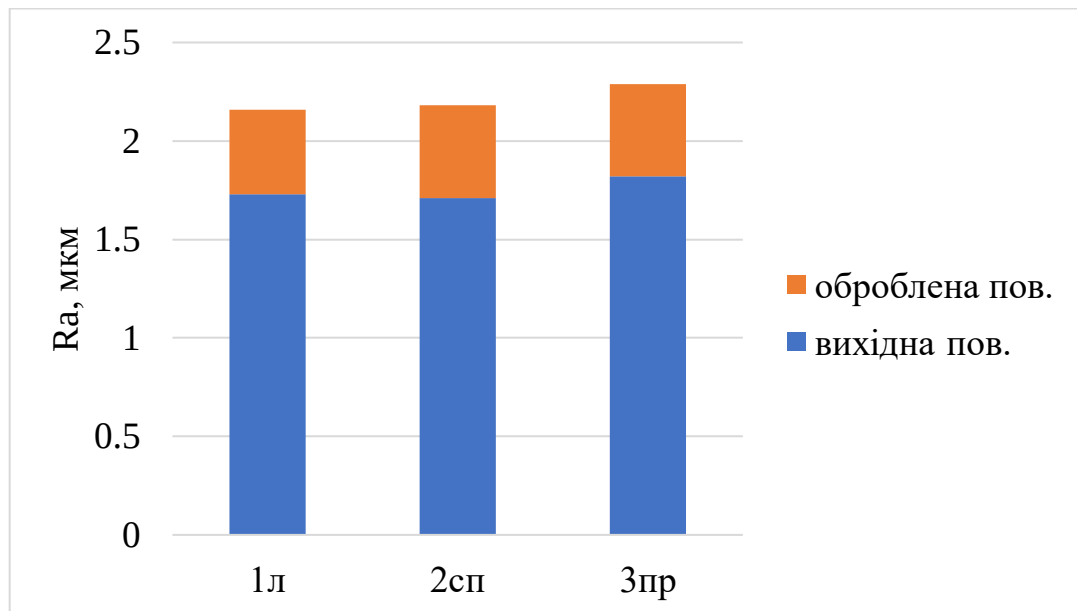


Рисунок 3.6 – Розподілення середніх значень шорсткості поверхні зразків–свідків (експеримент №6, час обробки $t=60$ хв) [1]

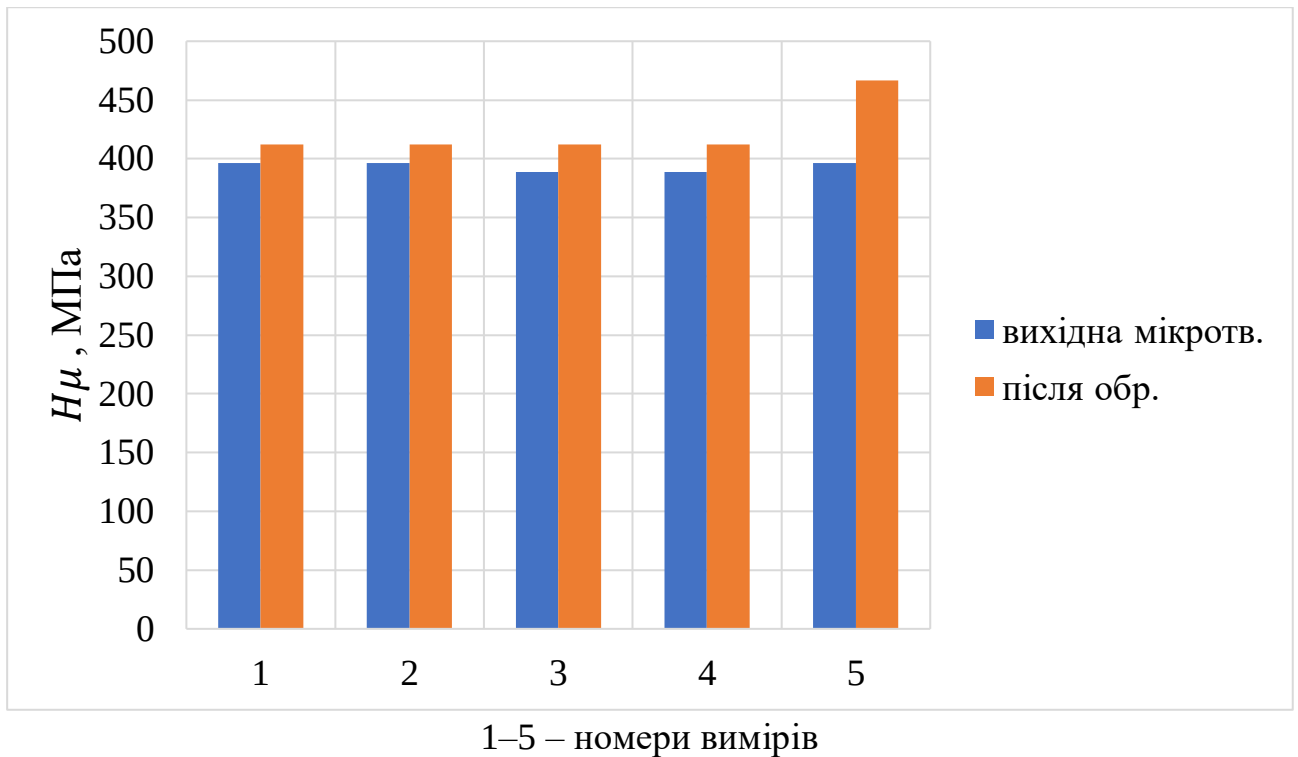


Рисунок 3.7 – Діаграма розподілення мікротвердості (експеримент №6, час обробки $t=60$ хв) [1]

3.2.1 Висновки за результатами зміцнення зовнішньої поверхні

Порівнюючи результати обробки внутрішньої (експеримент №2) та зовнішньої поверхні (експеримент №6) протягом 60 хв можна зробити висновок:

- шорсткість зразків після обробки внутрішньої поверхні лонжерону та зовнішньої поверхні при обробці протягом 60 майже не відрізняються;
- приріст мікротвердості поверхневого шару на зразках з зовнішньої поверхні складає 7%, а зразків з внутрішньої поверхні – 5,2%, при таких самих умовах обробки.

Отже на основі проведених експериментів можна зробити висновок, що найоптимальнішою тривалістю зміцнення при заданих режимах приймаємо 60 хвилин.

3.3 Визначення залишкових напружень після віброударного зміцнення

Визначення залишкових напружень проводили послідовним електролітичним травленням шарів металу зі зразків–свідків. Схема вирізки зразків представлена на рисунку 2.3. Результати вимірювань представлені в додатку А, таблиці А.1.

Параметри технологічного режиму зміцнення:

– амплітуда коливань, мм	6,0...11,0;
– розмір зміцнювальних тіл, Ø мм	5...7;
– маса зміцнювальних тіл у завантаженні, г/см ²	4...6;
– тривалість зміцнення, хв	20±1;
– частота коливань, Гц	15...24.

В результаті вимірювань побудували епюри для порівняння розподілення залишкових напружень на внутрішніх та зовнішніх поверхнях в залежності від глибини поверхневого шару (рис. 3.8 – 3.16).

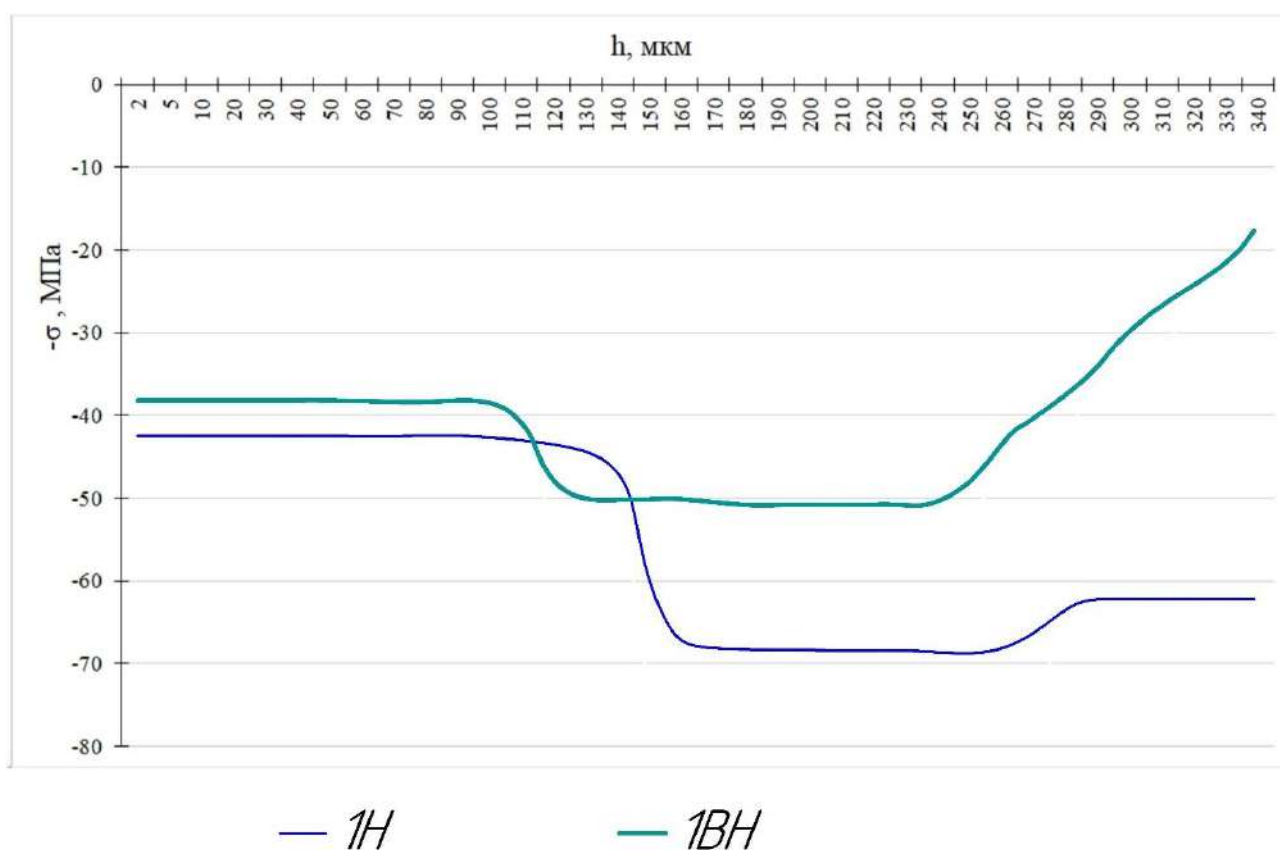


Рисунок 3.8 – Епюра розподілення залишкових напружень зразків 1Н та 1ВН

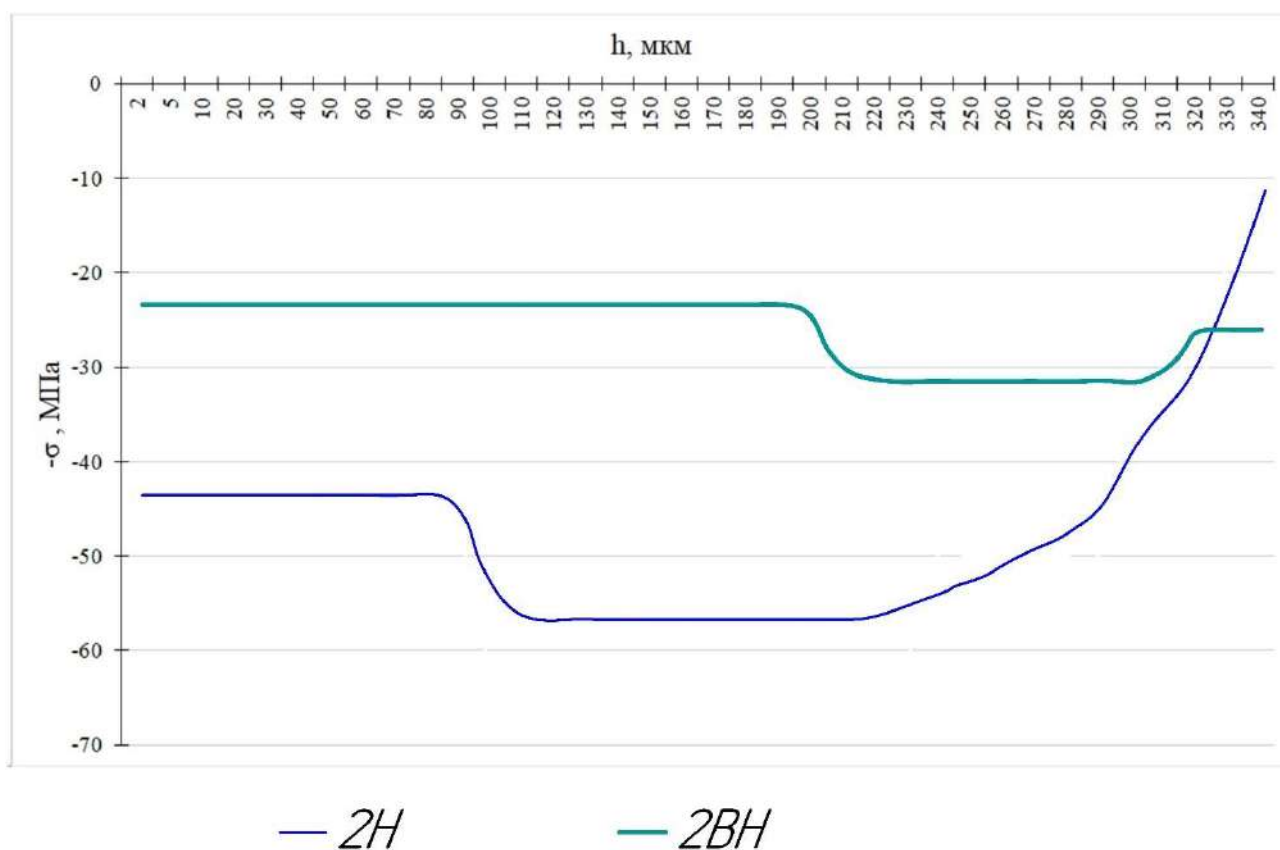


Рисунок 3.9 – Епюра розподілення залишкових напружень зразків 2Н та 2ВН

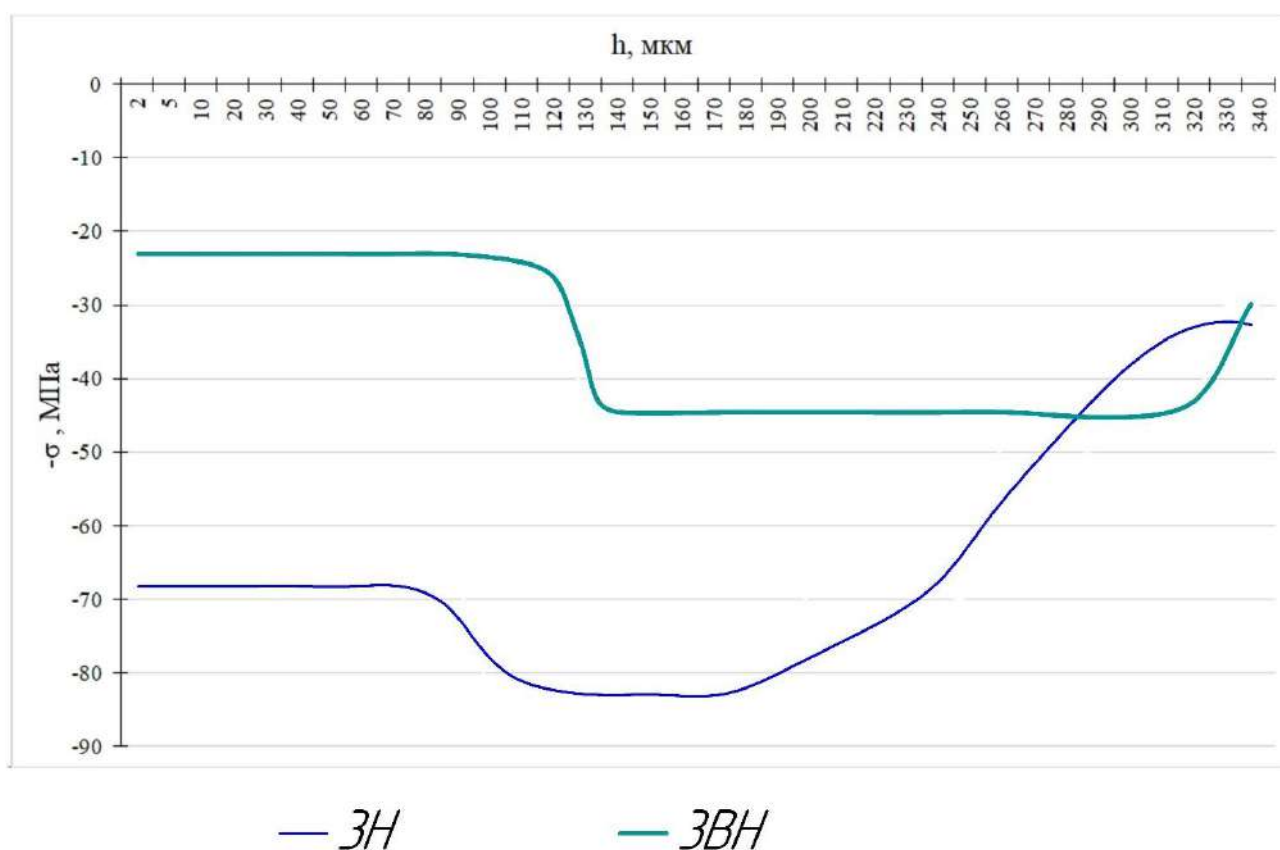


Рисунок 3.10 – Епюра розподілення залишкових напружень зразків 3Н та 3ВН

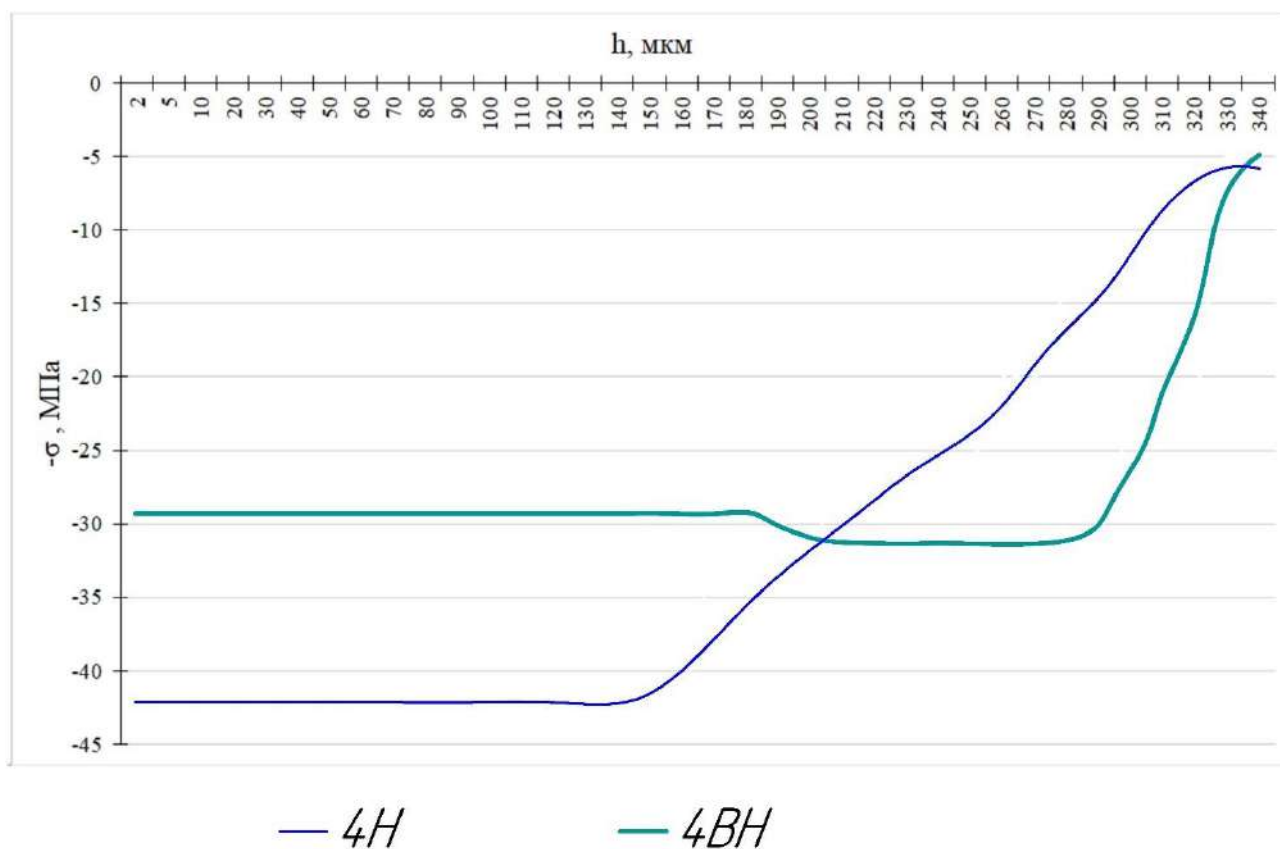


Рисунок 3.11 – Епюра розподілення залишкових напружень зразків 4Н та 4ВН

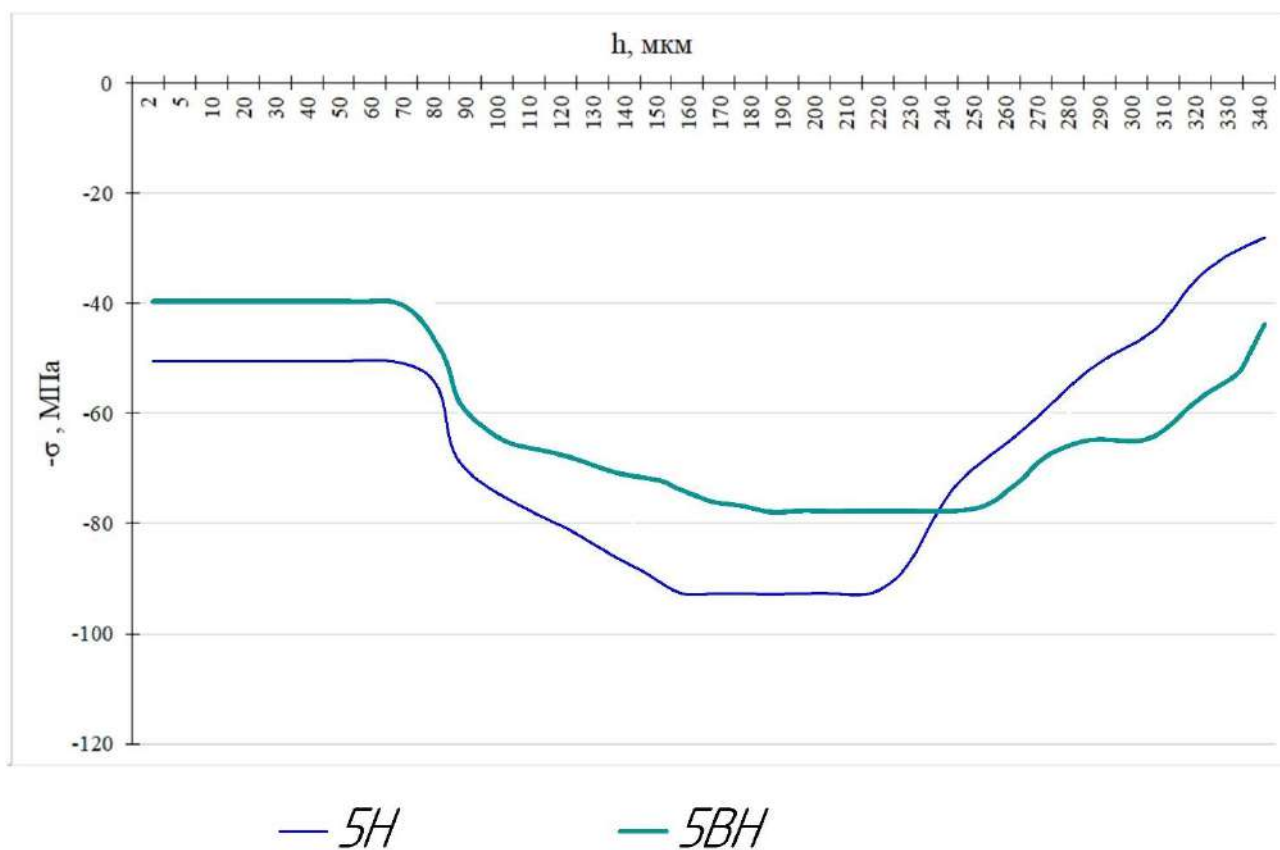


Рисунок 3.12 – Епюра розподілення залишкових напружень зразків 5Н та 5ВН

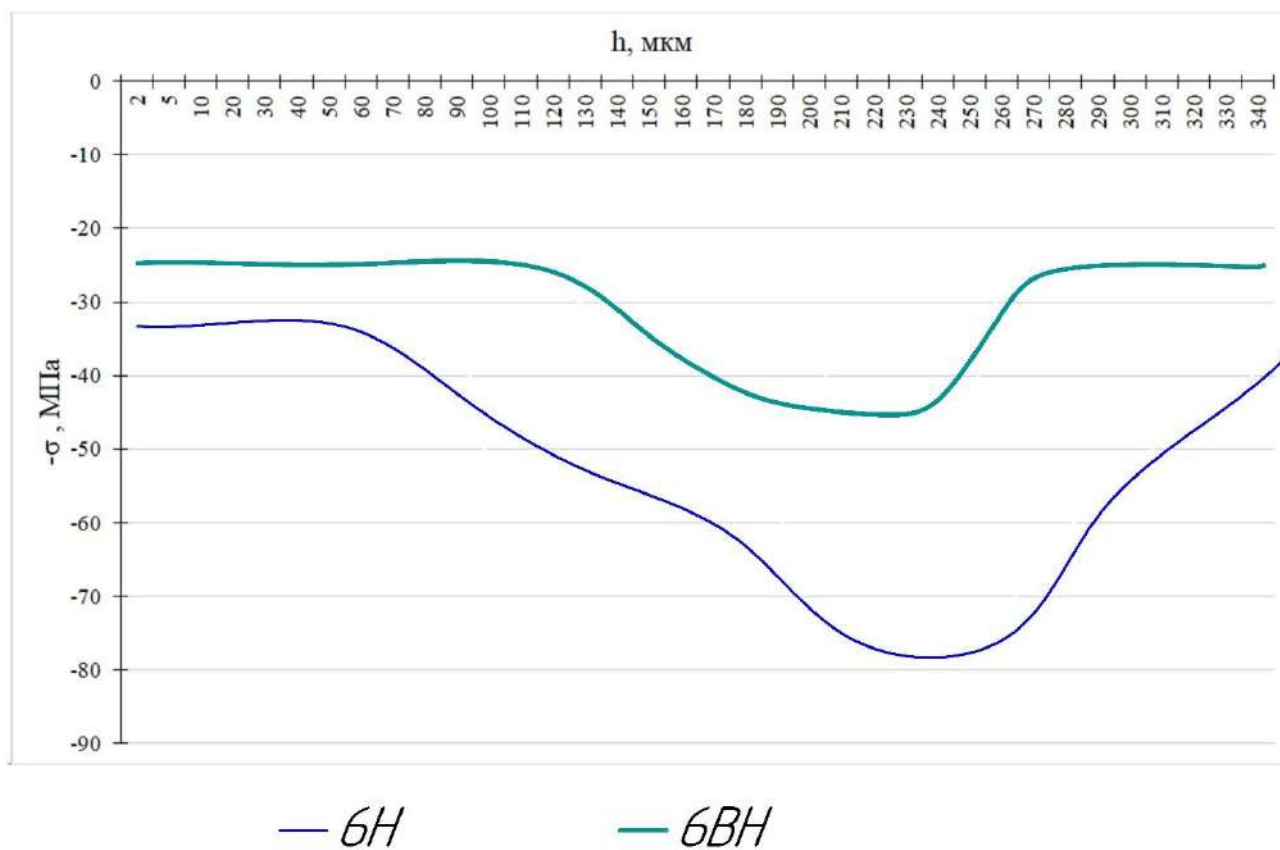


Рисунок 3.13 – Епюра розподілення залишкових напружень зразків 6Н та 6ВН

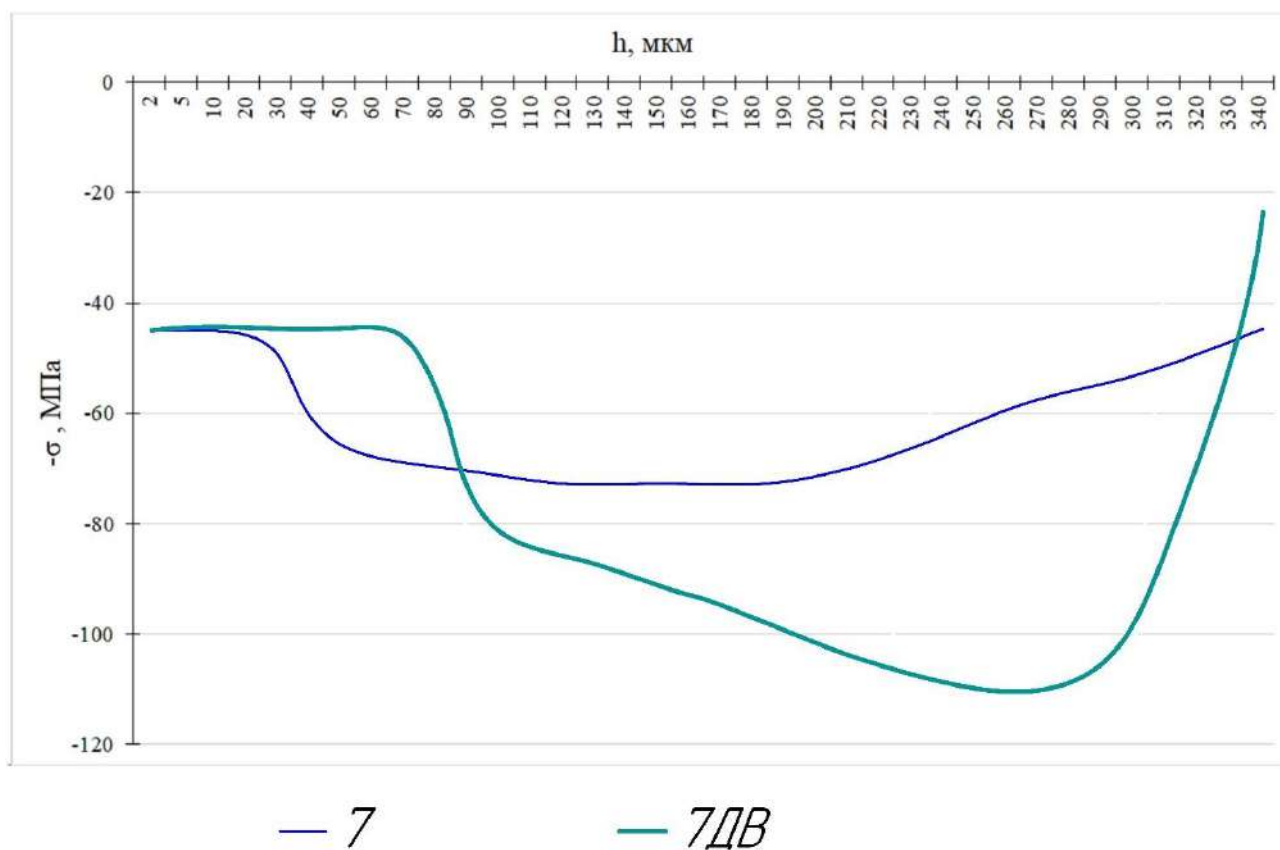


Рисунок 3.14 – Епюра розподілення залишкових напружень зразків 7 та 7ДВ

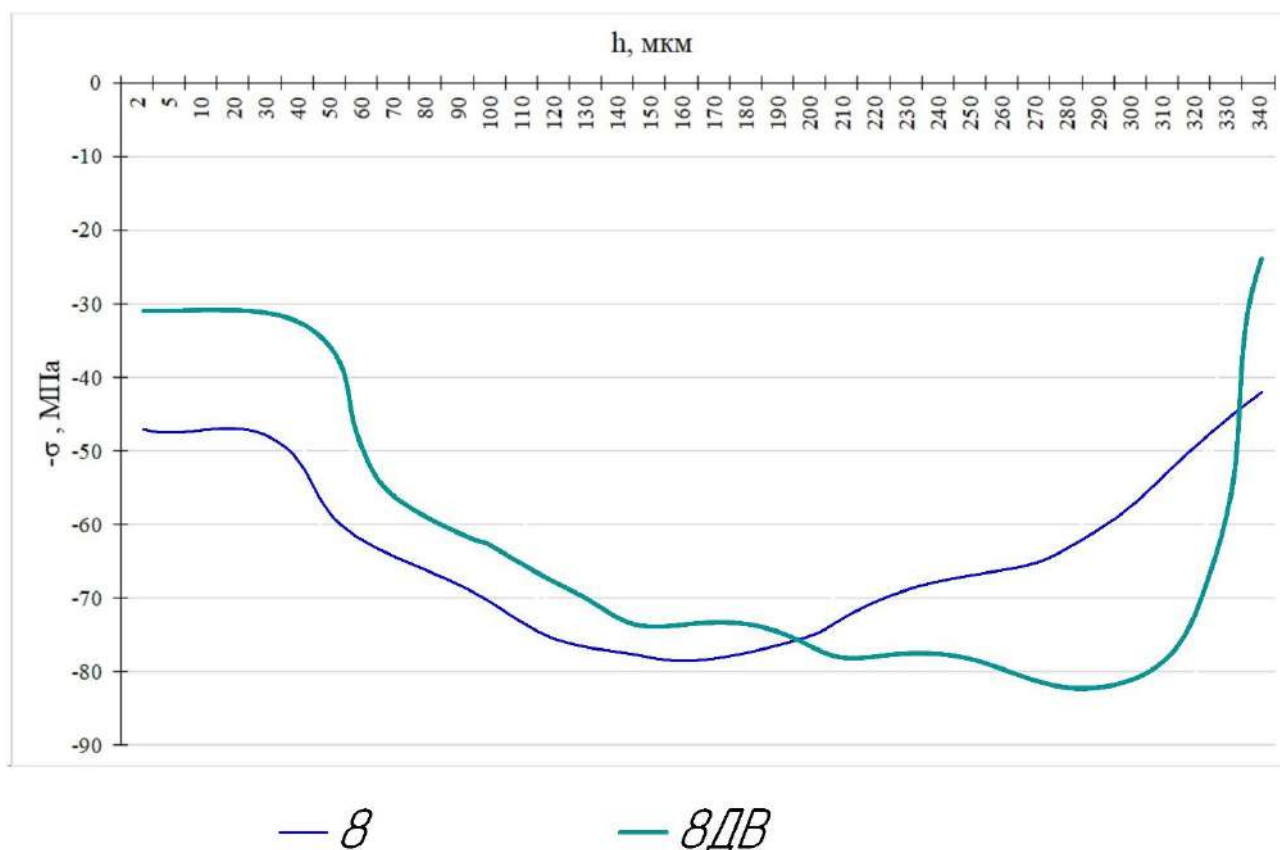


Рисунок 3.15 – Епюра розподілення залишкових напружень зразків 8 та 8ДВ

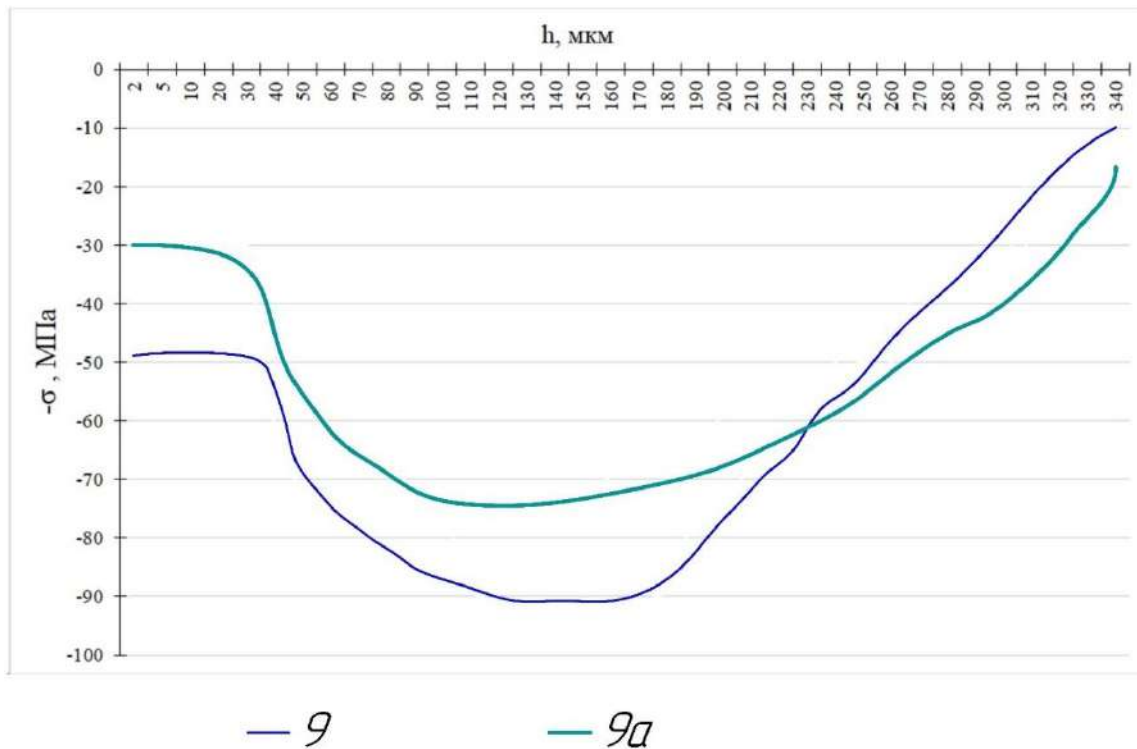


Рисунок 3.16 – Епюра розподілення залишкових напружень зразків 9 та 9а

3.3.1 Висновки за результатами вимірів залишкових напружень

З епюр (рис. 3.8 – 3.16) бачимо, що залишкові напруження на поверхні зразків зовнішньої поверхні (1Н–6Н) знаходяться в діапазоні 30–70 МПа, але на глибині 150–200 мкм вони зростають до 60–90 МПа.

При таких самих умовах обробки напруження поверхневого шару внутрішніх зразків (1ВН–6ВН) становлять 25–40 МПа, і максимальні напруження в діапазоні 35–80 МПа на глибині 180–210 мкм.

На зразках 7–9а спостерігається збільшення залишкових напружень на поверхні з 30–50 МПа до 80–104 МПа в підшаровій області.

Це можна пов'язати з особливостями технології віброударної обробки, амплітуда та сила удару кульок по зовнішній поверхні більші, ніж по внутрішній.

Так як напруження стискаючі, то вони підвищують межу втоми, тобто збільшують ресурс деталі.

4 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОДНОЧАСНОГО ЗМІЦНЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ТА ЗОВНІШНЬОЇ ПОВЕРХОНЬ ЛОНЖЕРОНА В ПОРІВНЯННІ З ПОЕТАПНОЮ ОБРОБКОЮ

Так як лонжерон має велику довжину, це вимагає наявності значних інтервалів розташування технологічного обладнання для його обробки. Утруднюється переміщення і установка лонжерона в пристосування верстатів, які здійснюються за допомогою мостового крана за спеціальною схемою стропування і вимагають присутності кількох робітників. До недавнього часу застосовувалась технологія зміцнення лонжерону за чотири установки. Але наразі існує технологія одночасної обробки зовнішньої та внутрішньої поверхні лонжерону, яку розглянуто в даній роботі.

Для визначення економічної доцільності використання одночасної обробки зовнішньої та внутрішньої поверхонь замість поетапної обробки за чотири переходи, розрахуємо вартість однієї машино–години для обох видів обробки та порівняємо отримані значення.

Вартість однієї машино–години визначається за формулою (4.1) [9]:

$$C_{\text{м.ч.}} = \frac{C_p}{\Phi_{\text{еф}}} \cdot K_3 \quad (4.1)$$

де C_p — річні витрати, що забезпечують функціонування комплексу, грн/рік;

$\Phi_{\text{еф}}$ — річний ефективний фонд часу роботи обладнання в рік, год;

K_3 — коефіцієнт завантаження (0,9 — 0,95).

Річні витрати, що забезпечують функціонування установок, визначаються за формулою (4.2) [9]:

$$C_p = C_{\text{рем}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{м}} + C_{\text{ел}} + C_{\text{пр}} \quad (4.2)$$

де $C_{\text{рем}}$ – витрати часу на поточний і профілактичний ремонт технічних програмних засобів (приймаємо рівним 2.5–5% від вартості комплексу), грн;

$C_{\text{ам}}$ – сума річних амортизаційних відрахувань комплексу технічних засобів, грн;

$C_{\text{м}}$ – витрати на витратні матеріали, становлять 1% від вартості комплексу технічних засобів, грн;

$C_{\text{ел}}$ – вартість електроенергії, споживаної технічним комплексом, грн;

$C_{\text{пр}}$ – інші витрати, враховуються в разі оренди машинного часу, витрати на інтернет та ін., грн.

Вартість електроенергії, споживаної технічним комплексом, розраховується за формулою (4.3) [9]:

$$C_{\text{ел}} = \frac{C_{\text{е}} \cdot M_{\text{в}} \cdot T_{\text{маш}}}{60} \cdot \Phi_{\text{еф}} \quad (4.3)$$

де $C_{\text{е}}$ – вартість 1 кВт/ч електроенергії;

$M_{\text{в}}$ – потужність верстата;

$T_{\text{маш}}$ – витрати машинного часу, хв [9].

Сума амортизаційних відрахувань розраховується за формулою (4.4) [9]:

$$C_{\text{ам}} = \frac{C_{\text{в}} \cdot H_{\text{а}}}{100} \quad (4.4)$$

де $C_{\text{в}}$ – вартість верстата, грн;

$H_{\text{а}}$ – норма амортизації, %

Вихідні дані:

Для поетапної обробки на вібростенді ВСУЛ–1А:

$T_{\text{маш } 1} = 4 \cdot 30 \text{ хв} = 120 \text{ хв}$ – машинний час операції;

$M_{\text{в } 1} = 15 \text{ кВт}$ – потужність вібростенда;

$C_{в1} = 420000$ грн – вартість вібростенда;

Для одночасної обробки:

$T_{маш2} = 60$ хв – машинний час операції;

$M_{в2} = 22$ кВт – потужність вібростенда:

$C_{в2} = 1200000$ грн – вартість вібростенда;

$C_e = 3,26$ грн/кВт · час – вартість електроенергії;

$\Phi_{еф} = 3886$ год – річний ефективний фонд часу роботи обладнання.

Ведемо розрахунок спочатку для поетапної обробки.

Визначаємо вартість електроенергії, споживаної вібростендом ВСУЛ–1А за формулою (4.3):

$$C_{ел1} = \frac{3,26 \cdot 15 \cdot 120}{60} \cdot 3886 = 380050,8 \text{ грн}$$

Сума амортизаційних відрахувань розраховується за формулою (4.4):

$$C_{ам1} = \frac{420000 \cdot 20}{100} = 84000 \text{ грн}$$

Річні витрати за формулою (4.2):

$$C_{p1} = 12600 + 380050,8 + 4200 + 84000 = 480850,8 \text{ грн}$$

де $C_{рем1} = 0,03 \cdot 420000 = 12600$ грн – витрати на ремонт;

$C_{м1} = 0,01 \cdot 420000 = 4200$ грн – витрати на витратні матеріали.

Отже, вартість однієї машино–години на вібростенді ВСУЛ–1А становить:

$$C_{м.ч.1} = \frac{480850,8}{3886} \cdot 0,9 = 111,4 \text{ грн/год}$$

Вартість поетапної обробки тоді становить:

$$B_1 = \frac{C_{\text{м.ч.}} \cdot T_{\text{маш}}}{60} = \frac{111,4 \cdot 120}{60} = 222,8 \text{ грн}$$

Проведемо розрахунок для одночасної обробки зовнішньої та внутрішньої поверхонь:

Вартість електроенергії за формулою (4.3):

$$C_{\text{ел2}} = \frac{3,26 \cdot 32 \cdot 60}{60} \cdot 3886 = 405387,5 \text{ грн}$$

Сума амортизаційних відрахувань розраховується за формулою (4.4):

$$C_{\text{ам2}} = \frac{1200000 \cdot 20}{100} = 240000 \text{ грн}$$

Річні витрати за формулою (4.2):

$$C_{\text{р2}} = 36000 + 240000 + 12000 + 405387,5 = 693387,5 \text{ грн}$$

де $C_{\text{рем2}} = 0,03 \cdot 1200000 = 36000$ грн – витрати на ремонт;

$C_{\text{м2}} = 0,01 \cdot 1200000 = 12000$ грн – витрати на витратні матеріали.

Отже, вартість однієї машино–години для одночасної обробки становить:

$$C_{\text{м.ч.2}} = \frac{693387,5}{3886} \cdot 0,9 = 160,6 \text{ грн/год}$$

Вартість операції тоді становить:

$$B_2 = \frac{C_{\text{м.ч.}} \cdot T_{\text{маш}}}{60} = \frac{160,6 \cdot 60}{60} = 160,6 \text{ грн}$$

Економічний ефект від використання одночасної обробки зовнішньої та внутрішньої поверхонь замість поетапного зміцнення:

$$E = B_1 - B_2 = (222,8 - 160,6) \cdot 3886 = 241709,2 \text{ грн}$$

Враховуючи річну програму випуску, економічний ефект становить 241709,2 грн.

За результатами економічного розрахунку можна зробити висновок, що економічно доцільніше зміцнення внутрішніх та зовнішніх поверхонь лонжерону проводити за одну установку, ніж за чотири переходи, так як поетапна обробка майже дорожча за одночасну за рахунок тривалості операцій.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В процесі виконання магістерської роботи були виконані такі види досліджень: заміри залишкових напружень на приладі ПОН–2М; заміри твердості проводилися на мікротвердомірі; заміри шорсткості проводили на профілографі–профілометрі; всі дослідження були оброблені за допомогою комп'ютерів. Також зміцнюючу обробку проводили на спеціальному вібростенді.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Вимірювання шорсткості проводили на профілографі–профілометрі, а мікротвердість вимірювали на мікротвердомір. Робота на приладах, пов'язаних з електричним струмом вимагає чіткого виконання робіт з дотриманням техніки безпеки.

При використанні електроприладів існує небезпека ураження людини електричним струмом. Найбільш часто причиною поразки людини електрострумом є дотик його до неізольованих електродротів, до електропровідників з пошкодженою ізоляцією, а також до металевих конструктивних елементів машин, механізмів і апаратів, випадково опинилися під напругою. Іноді електропоразки відбуваються при користуванні несправними захисними засобами. Причиною також може бути виникнення крокової напруги на поверхні землі або підлоги, на якій стоїть людина, в результаті замикання проводу на землю або несправності заземлення. Одна з головних причин електротравм – слабе знання людьми правил електробезпеки [10].

Проходячи через організм людини, електрострум виробляє термічну, електролітичну, механічну і біологічну дію. При цьому можливі незворотні порушення функціональної діяльності життєво важливих органів людини. Небезпечна і шкідлива дія на людину електроструму, електричної дуги і

електромагнітних полів проявляється у вигляді електротравм і професійних захворювань [10].

Термічна дія струму проявляється опіками окремих ділянок тіла, нагріванням до високої температури тканин тіла, кровоносних судин, нервів, серця та інших органів, котрі знаходяться на шляху струму.

Електролітична (електрохімічна) дія струму веде до розкладання органічних рідин (кров, лімфа і плазма) і порушення їх фізико-хімічного складу [10].

Механічна дія полягає в розшаруванні, розриві та інших механічних пошкодженнях тканин організму, зокрема, м'язової, стінок судин, судин легенів, внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари з тканинної рідини і крові внаслідок теплової дії електроструму [10].

Біологічна дія проявляється в подразненні і порушенні живої тканини, а також в порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, що протікають в організмі і безпосередньо пов'язаних з його життєвими функціями. Це може супроводжуватися мимовільним, судинним скороченням м'язів, в тому числі м'язів серця і легенів. При цьому порушується кровообіг і робота органів дихання або повністю зупиняється їх діяльність [10].

Результат поразки людини електрострумом залежить від багатьох чинників: сили струму і часу його проходження через організм, характеристики струму (змінний або постійний), шлях струму в тілі людини, при змінному струмі – від частоти коливань.

Небезпека електроструму для людини зростає зі збільшенням тривалості впливу його на організм.

Одночасне зміцнення зовнішньої та внутрішньої поверхонь лонжерону проводилось на спеціальній установці для віброзміцнення. Установка представляє собою вібраційну машину резонансного типу, призначену для зміцнення зовнішніх і внутрішніх поверхонь на довгомірних деталях типу лонжерон лопаті несучого гвинта.

В ході зміцнення частота коливань становить приблизно 10...25 Гц та створюється звук інтенсивністю 110 дБ. Випробування проводять близько 15 хвилин для однієї деталі.

Одним із шкідливих виробничих факторів є шум – безладне поєднання звуків різної частоти та інтенсивності (сили), що виникають при механічних коливаннях в твердих, рідких і газоподібних середовищах. Шум негативно впливає на організм людини, в першу чергу на центральну нервову і серцево–судинну системи. Тривалий вплив шуму знижує гостроту слуху та зору, підвищує кров'яний тиск, стомлює центральну нервову систему, в результаті чого послаблюється увага, збільшується кількість помилок в діях працівника, знижується продуктивність праці. Вплив шуму призводить до появи професійних захворювань і може стати також причиною нещасного випадку.

За тимчасовими характеристиками шум підрозділяється на постійний і непостійний (коливається в часі, переривчастий, імпульсний).

Постійним вважається шум, рівень якого за восьмигодинний робочий день змінюється в часі не більше ніж на 5 дБ, непостійним – більш ніж на 5 дБ. ГОСТ 12.1.003—83 встановлює гранично–допустимі умови постійного шуму на робочих місцях, при яких шум, діючи на працюючого протягом восьмигодинного робочого дня, не приносить шкоди здоров'ю. Нормування ведеться в октавних смугах частот зі середньгеометричними частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц [11].

Згідно з [12] при роботі в лабораторії максимальний рівень шуму при частоті 31,5 Гц складає 93 дБ. При постійній дії шуму до 4–х годин максимальний рівень – 78 дБ; до 8–ми годин – 81 дБ. Тобто можна зробити висновок, що даний рівень шуму в лабораторії не припустим та потребує додаткових засобів захисту від шуму.

Виробничий шум порушує інформаційні зв'язки, що викликає зниження не тільки ефективності, але і безпеку діяльності людини, так як високий рівень шуму заважає почути застережливий сигнал небезпеки. Крім того, шум викликає звичайну втому. При дії шуму знижуються здатність зосередження уваги, точність виконання робіт, пов'язаних з прийомом і аналізом інформації, і продуктивність праці. При постійному впливі шуму працівники скаржаться на безсоння, порушення зору,

смакових відчуттів, розлад органів травлення і т. д. У них відзначається підвищена схильність до неврозів. Енерговитрати організму при виконанні роботи в умовах шуму більше, тобто робота виявляється більш важкою. Шум, негативно впливаючи на слух людини, може викликати три можливих результати: тимчасово (від хвилини до декількох місяців) знизити чутливість до звуків певних частот, викликати пошкодження органів слуху або миттєву глухоту. Рівень звуку в 130 дБ викликає больове відчуття, а в 150 дБ призводить до ураження слуху при будь-якій частоті.

5.2 Заходи з забезпечення безпеки

Працівники до виконання досліджень обов'язково мають пройти інструктаж з техніки безпеки за [14].

Так як всі дослідження оброблялись за допомогою комп'ютерів, то необхідно розглянути правила безпеки та загальні вимоги при роботі з комп'ютером.

Вимоги до обладнання і організації робочих місць користувачів ПК, згідно [15].

Вимоги до монітору згідно до вимог директиви ЕС 90/270 ЕЕС. Основним обладнанням робочого місця користувача комп'ютера є монітор, системний блок та клавіатура. Робочі місця мають бути розташовані на відстані не менше 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін на відстані 1м, між собою на відстані не менше 1,5 м за [16]. Відносно вікон робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва.

Екран дисплея повинен бути розташованим перпендикулярно до напрямку погляду. Якщо він розташований під кутом, то стає причиною сутулості. Відстань від дисплея до очей повинна трохи перевищувати звичну відстань між книгою та очима. Перед екраном монітора, особливо старих типів, повинен бути спеціальний захисний екран. При його відсутності треба сидіти на відстані витягнутої руки від монітора. Фільтри з металевої або нейлонової сітки використовувати не рекомендується, тому що сітка спотворює зображення через інтерференцію світла.

Найкращу якість зображення забезпечують скляні поляризаційні фільтри. Вони усувають практично всі відблиски, роблять зображення чітким і контрастним. Ще одним моментом, який стосується зору, є необхідність створення неоднорідного поля зору. Для цього можна розвісити на поверхнях (стінах) плакати та картини, виконані у спокійних тонах [15].

Робоча поза визначається за [17]. Зручна робоча поза при роботі з комп'ютером забезпечується регулюванням висоти робочого столу, крісла та підставкою для ніг. Рациональною робочою позою може вважатися таке положення, при якому ступні працівника розташовані горизонтально на підлозі або підставці для ніг, стегна зорієнтовані у горизонтальній площині, верхні частини рук вертикальні.

Важливою є форма спинки крісла, яка повинна повторювати форму спини. Висота крісла повинна бути такою, щоб користувач не відчував тиску на куприк або стегна. Крісло бажано обладнати бильцями. Його потрібно встановити так, щоб не треба було тягтися до клавіатури. Періодично користувачу необхідно рухатися, вчасно змінювати положення тіла і робити перерви у роботі [17].

При напруженій роботі за комп'ютером щогодини необхідно робити перерву на 15 хвилин через кожну годину і треба займатися іншою справою. Декілька разів на годину бажано виконувати серію легких вправ для розслаблення. Максимальний час неперервної роботи – 4 години.

Кожні 2 роки повинен проводитись медичний огляд за рахунок роботодавця (Наказ міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій»).

Вимоги електробезпеки при впливі електричних полів промислової частоти за ДСТУ 7237:2011.

Електроживлення електрообладнання приміщення з ПК здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. Відповідно до вимог "ПУЕ-2014", електрообладнання в приміщенні з ПК, характеризується як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ» та [18], величина

опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення з ПК у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом.

Електробезпека повинна забезпечуватися:

- конструкцією електроустановок;
- технічними способами і засобами захисту;
- організаційними і технічними заходами.

Електроустановки і їх частини повинні бути виконані таким чином, щоб працюють не піддавалися небезпечним і шкідливим впливам електричного струму і електромагнітних полів, і відповідати вимогам електробезпеки [10].

Для забезпечення захисту від випадкового дотику до струмоведучих частин необхідно застосовувати такі способи і засоби: захисна оболонка; захисні огороження (тимчасові або стаціонарні); безпечне розташування струмоведучих частин; ізоляцію струмоведучих частин (робочу, додаткову, посилену, подвійну); ізоляцію робочого місця; захисне вимкнення; запобіжну сигналізацію, блокування, знаки безпеки [10].

Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, застосовують такі способи: захисне заземлення; занулення.

За безпечність конструкції, правильність вибору матеріалів, якість виконання, а також відповідність засобів захисту чинним в Україні нормативним документам повинні нести відповідальність керівники підприємств, установ, організацій (незалежно від форми власності), які виготовляють ці засоби захисту, орган, який видав сертифікат на виробництво і реалізацію захисних засобів, у тому числі і засобів захисту зарубіжного виробництва.

Основними засобами захисту від ураження електричним струмом є: забезпечення недоступності струмопровідних частин для випадкового дотику; використання електроенергії з безпечними рівнями напруги; усунення небезпеки ураження людей струмом при появі напруги на конструктивних частинах електроустановки; використання індивідуальних засобів захисту від ураження

електрострумом. Для попередження уражень електрострумом необхідно: чітко і в повному обсязі виконувати правила виконання робіт і технічної експлуатації [10].

При розробці технологічних процесів, проектуванні, виготовленні та експлуатації машин, виробничих будівель та споруд, а також при організації робочого місця слід вживати всіх необхідних заходів щодо зниження шуму, що впливає на людину на робочих місцях, до значень, що не перевищують допустимі. Наприклад, застосуванням засобів та методів колективного захисту та індивідуального захисту згідно з [19].

До таких заходів відноситься використання звуко поглинаючого кожуха на установці або глушнику шуму. Оснащення шумних машин засобами дистанційного управління та автоматичного контролю, щоб не було необхідності працівнику безпосередньо бути присутнім при зміцненні.

Засоби індивідуального захисту від шуму в залежності від конструктивного виконання поділяються на: протишумні навушники, що закривають вушну раковину ззовні; протишумні вкладки, що перекривають зовнішній слуховий прохід або прилеглі до нього; протишумні шоломи та каски; протишумні костюми [19].

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку.

Також обов'язковим є проходження медичного огляду один раз на два роки, а для окремих категорій робітників і один раз на рік, за рахунок роботодавця відповідно Наказ міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій».

Таким чином кожен працівник повинен дотримуватися заходів з охорони праці, до яких належать дотримання правил техніки безпеки та особистої гігієни, дотримання виробничої дисципліни і правил внутрішнього розпорядку, утримання в чистоті і порядку робочого місця, дотримання місцевих виробничих інструкцій,

застосування індивідуальних захисних засобів та вміти надати першу медичну допомогу при невідкладних станах.

Для всіх працівників необхідним є проходження навчання відповідно вимог, що зазначено в [20]. Згідно Наказу міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій» до роботи допускаються особи, що пройшли медичний огляд та не мають протипоказань до цієї роботи.

5.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Загальні санітарно-гігієнічні показники повітря в приміщенні при роботі в лабораторії повинні відповідати ГОСТ 12.1.005–88 "ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны". Оптимальні значення температури в холодну пору року при проведенні дослідницької роботи 18–20° С, в теплу пору року 21–23° С та мати відносну вологість 40–60%, швидкість руху повітря в робочій зоні приміщення повинна бути не більше 0,2 м/с за ДСН 3.3.6.042–99 "Державні санітарні норми параметрів мікроклімату".

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень системою опалювання, що збалансована з припливно-витяжною вентиляцією, згідно ДБН В.2.5–67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

При розробці технологічних процесів, проектуванні, виготовленні та експлуатації машин, виробничих будівель і споруд, а також при організації робочого місця слід приймати всі необхідні заходи щодо зниження шуму, що впливає на людину на робочих місцях, до значень, що не перевищують допустимі:

- розробкою шумобезпечної техніки;
- застосуванням засобів і методів колективного захисту за ГОСТ 12.1.029–80;
- застосуванням засобів індивідуального захисту за ГОСТ 12.4.051–87.

Зони з рівнем звуку або еквівалентним рівнем звуку вище 65 дБА повинні бути позначені знаками безпеки по ГОСТ 12.4.026–76. Працюючи в цих зонах адміністрація зобов'язана забезпечувати засобами індивідуального захисту по ГОСТ 12.4.051–87.

На підприємствах, в організаціях і установах повинен бути забезпечений контроль рівнів шуму на робочих місцях не рідше одного разу на рік.

У стандартах і (або) технічних умовах на машини повинні бути встановлені граничні значення шумових характеристик цих машин.

Шумову характеристику слід вибирати з числа передбачених ГОСТ 23941–79.

Для зменшення шкідливого впливу виробничого шуму на працівників необхідно застосовувати звукоізоляцію та глушники шуму. Принцип звукоізоляції базується на тому, що більша частина звукової енергії, яка потрапляє на перешкоду, відбивається та лише незначна її частина проходить крізь неї. Також окрім звукоізоляції необхідно використовувати навушники.

Рівні вібрації під час верстатних робіт перевищують допустимі значення, що визначені в [12].

Для зменшення негативного впливу вібрації (спазми судин, порушення кровообігу та терморегуляції, біль в суглобах, тремор кінцівок) під час роботи з ручним механічним, електричним та пневматичним інструментом застосовуються засоби індивідуального захисту (НПАОП 0.00–1.71–13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 року № 966.Під час роботи в умовах загальної вібрації застосовується спеціальне взуття.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежна безпека повинна забезпечуватися шляхом проведення організаційних заходів та технічних засобів, спрямованих на запобігання пожежам,

забезпечення безпеки людей, зниження можливих майнових втрат і зменшення негативних екологічних наслідків у разі їх виникнення, створення умов для успішного гасіння пожеж згідно з НАПБ А.01.001–2014 "Правила пожежної безпеки в Україні".

Клас можливої пожежі (А, В, С, D, F, E) визначається згідно ДСТУ EN 2:2014 "Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)" та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1–36:2016 "Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою" та СНиП 2.09.02–85 "Производственные здания".

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1–7:2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги" визначають ступінь вогнестійкості приміщення.

Відповідно до вимог ДБН В.1.1–7:2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги", передбачити шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи).

Пожежа, яка може виникнути відноситься до класу пожеж А, це пожежі твердих речовин переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір) згідно [24].

Причинами пожежі можуть бути: несправність електрообладнання (коротке замикання, перевантаження); тривале перевантаження двигунів, приводів; порушення ізоляції, потрапляння іскор або стружки з високою температурою на легкозаймисті матеріали або спецодяг.

Рекомендується для даної категорії приміщення і класу пожежі оснащувати приміщення порошковими вогнегасниками місткістю 5 л в кількості 1 шт згідно НАПБ Б.03.001–2004 "Типові норми належності вогнегасників". При чому гранична захищувана площа складає 900 м², що більш ніж достатньо для приміщення площею 32 м² в якому проводяться науково–дослідницькі роботи. В порошкових вогнегасниках джерелом гасіння є сухий порошок. Призначаються для гасіння твердих, рідких та газоподібних речовин, а також для матеріалів, які тліють. Рекомендуються для гасіння електроустановок з напругою до 1 000 В. Зберігати

потрібно у вертикальному стані в легкодоступному місці, захищеному від прямих сонячних променів і далеко від нагрівальних приладів [25].

На об'єктах з постійним або тимчасовим перебуванням на них 100 і більше осіб або таких, що мають хоча б одне окреме приміщення із одночасним перебуванням 50 і більше осіб (далі – об'єкти з масовим перебуванням людей), у будинках та спорудах (крім житлових будинків), котрі мають два поверхи і більше, у разі одночасного перебування на поверсі більше 25 осіб, а для одноповерхових – більше 50 осіб, мають бути розроблені і вивішені на видимих місцях плани (схеми) евакуації людей на випадок пожежі [25]. Територія об'єкта, а також будинки, споруди, приміщення мають бути забезпечені відповідними знаками безпеки. Знаки безпеки, їх кількість, а також місця їх встановлення повинні відповідати ДСТУ ISO 6309:2007 "Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір" (ISO 6309:1987, IDT) та ГОСТ 12.4.026–76 "ССБТ. Цвета сигнальные и знаки безопасности". З метою проведення заходів із запобігання виникненню пожеж та організації їх гасіння на підприємствах створюється добровільна пожежна охорона, для забезпечення функціонування якої утворюються пожежно-рятувальні підрозділи. Порядок функціонування добровільної пожежної охорони затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 17 липня 2013 року № 564.15.

Усі працівники при прийнятті на роботу на робочому місці повинні проходити інструктажі з питань пожежної безпеки (далі – протипожежні інструктажі). Особи, яких приймають на роботу, пов'язану з підвищеною пожежною небезпекою, повинні попередньо (до початку самостійного виконання роботи) пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум) [21].

Керівник об'єкта та/або підприємства своїм розпорядчим документом визначає спеціальні місця для куріння, які необхідно позначити відповідним знаком або написом, і місця, де встановлюють урну або попільницю з негорючих матеріалів. Куріння за межами спеціально відведених місць забороняється [21].

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Забезпечення стійкої роботи комунально–енергетичних систем промислового об'єкта.

Проведення заходів, спрямованих на підвищення стійкості роботи підприємств організацій і установ в умовах надзвичайних ситуацій – одно з основних завдань цивільного захисту.

Під стійкістю роботи промислового об'єкта, що безпосередньо виробляє якусь продукцію, розуміють його здатність в умовах надзвичайної ситуації випускати продукцію в запланованому обсязі та номенклатурі, а при одержанні слабких і середніх руйнувань або порушенні зв'язків по кооперації та поставкам відновлювати виробництво в мінімальний термін [26].

Під стійкістю роботи об'єктів, що безпосередньо не виробляють продукцію, розуміють їх здатність виконувати свої функції в умовах надзвичайної ситуації.

На стійкість роботи промислових об'єктів в умовах воєнної надзвичайної ситуації впливають наступні фактори:

- надійність захисту робітників та службовців від впливу зброї масового ураження;
- здатність інженерно–технічного комплексу об'єкта деякою мірою протистояти вражаючим факторам ядерного вибуху;
- захищеність об'єкта від вторинних вражаючих факторів;
- надійність системи постачання об'єкта всім необхідним для виробництва продукції (сировиною, паливом, комплектуючими виробами, електроенергією, водою, газом і т.п.);
- стійкість і безперервність управління виробництвом та цивільним захистом;
- підготовленість об'єкта до проведення рятувальних та інших невідкладних аварійно–відбудовних робіт і робіт по відбудові порушеного виробництва [26].

Перераховані фактори визначають основні, загальні для всіх об'єктів, шляхи підвищення стійкості роботи в особливий період (воєнний час), а саме:

- забезпечення надійного захисту робітників та службовців від вражаючих факторів зброї масового ураження;
- захист основних виробничих фондів від вражаючих факторів, у тому числі і від вторинних;
- підвищення надійності та оперативності управління виробництвом;
- забезпечення стабільності постачання всім необхідним для випуску запланованої на воєнний час продукції;
- підготовка до відновлення порушеного виробництва.

Підвищення стійкості роботи об'єктів в умовах воєнної надзвичайної ситуації, досягається:

- завчасним проведенням комплексу інженерно–технічних, технологічних і організаційних заходів, спрямованих на максимальне зниження впливу вражаючих факторів зброї масового ураження;
- створенням умов для швидкої ліквідації наслідків надзвичайної ситуації [26].

Інженерно–технічні заходи включають комплекс робіт, що забезпечують підвищення стійкості виробничих будівель і споруд, верстатного і технологічного обладнання, комунально–енергетичних систем.

Технологічні заходи забезпечують підвищення стійкості роботи об'єкта шляхом зміни технологічного процесу, що сприяє прискоренню виробництва продукції та виключає можливість утворення вторинних вражаючих факторів.

Організаційні заходи передбачають розробку та планування дій керівного складу, штабу, служб і формувань цивільного захисту при захисті робітників та службовців підприємств, проведенні рятувальних і невідкладних аварійно–відбудовних робіт, відновленні виробництва, а також випуску продукції на збережених потужностях [26].

Стійкість роботи промислових об'єктів в умовах надзвичайної ситуації значною мірою залежить від того, у якому об'ємі були виконані вимоги норм проектування інженерно–технічних заходів цивільного захисту до розміщення об'єктів, плануванню міст, до будівництва виробничих будівель і споруд, систем постачання водою, газом і електроенергією.

Вимоги норм проектування спрямовані на зниження можливого збитку, втрат серед населення та створення кращих умов для проведення рятувальних і невідкладних аварійно-відбудовних робіт у можливих осередках ураження, а отже, сприяють підвищенню стійкості об'єктів.

Об'єкти господарчої діяльності, які мають важливе значення для національної економіки і оборони держави, належать до відповідних категорій цивільного захисту – особливої важливості, першій або другій категоріям [26].

Норми інженерно-технічних заходів цивільного захисту поширюються:

- на категоровані по цивільному захисту міста та окремо розташовані об'єкти особливої важливості і першої категорії (1 кат. – Запоріжжя і АЕС, 3 кат. – Мелітополь);

- на об'єкти, розташовані в категорованих містах, а також на території, де можливі руйнування та ураження людей (місця затоплення);

- на всю територію України, якщо це стосується захисту населення від радіоактивного, хімічного або бактеріологічного зараження місцевості.

Контроль виконання вимог норм інженерно-технічних заходів цивільного захисту здійснюють штаби цивільного захисту.

Вимоги до будівництва комунально-енергетичних систем

До систем електропостачання:

Порушення нормальної подачі електроенергії на об'єкт або окремі ділянки виробництва може привести до повного припинення роботи об'єкта. Тому для забезпечення надійного електропостачання в умовах воєнної надзвичайної ситуації при його проектуванні і будівництві повинні бути враховані наступні основні вимоги:

- електропостачання повинне здійснюватися від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива;

- великі електростанції слід розміщати друг від друга і від великих міст на відстані не менше двох радіусів зон можливих руйнувань;

- районні понижувальні станції, диспетчерські пункти енергосистем і лінії електропередач слід розміщати за межами зон можливих сильних руйнувань;

- трансформаторні підстанції необхідно надійно захищати від впливу вражаючих факторів, їх стійкість повинна бути не нижче стійкості самого об'єкта;
- електроенергію до ділянок виробництва слід подавати по незалежних електрокабелях, прокладених у землі на глибині 0,8...1,2 метра;
- система електропостачання повинна мати захист від впливу електромагнітного імпульсу;
- постачання електроенергії до великих міст і об'єктів, що продовжують роботу в умовах надзвичайної ситуації, необхідно передбачати від двох незалежних джерел;
- при електропостачанні об'єкта від одного джерела повинне бути не менше двох введів з різних напрямків;
- необхідно створювати автономні, резервні джерела електропостачання (для цього можна використовувати пересувні електростанції на залізничних платформах і судах, малопотужні електростанції, не включені в енергосистеми і т.п.);
- при проектуванні систем електропостачання слід зберігати, у якості резервних, дрібні стаціонарні електростанції об'єктів;
- у містах, які розташовані на берегах морів і рік, необхідно створювати берегові пристрої для прийому електроенергії від суднових енергоустановок [27].

До систем водопостачання:

- система водопостачання повинна базуватися не менше ніж на двох незалежних джерелах, одне з яких доцільно влаштовувати підземним;
- у містах і на об'єктах мережі водопостачання у всіх випадках повинні бути закільцьовані;
- при будівництві нових водопроводів існуючі повинні зберігатися як резервні;
- на підприємствах слід передбачати оборотне використання води для технічних цілей (це зменшує загальну потребу у воді, а, отже, підвищує надійність водопостачання);
- лінії водопроводу всіх мереж водопостачання повинні бути заглиблені в ґрунт на 1–2 метра;
- пожежні гідранти і пристрої, що відключають подачу води повинні бути розміщені на території, яка не може бути завалена при руйнуванні будівель.

- водопровідне кільце об'єкта повинно живитися від двох різних міських магістралей;
- в містах і безпосередньо на промислових підприємствах слід споруджувати герметизовані артезіанські свердловини;
- системи водопостачання які тільки споруджуються слід жити, якщо це можливо, від підземних джерел;
- водопостачання на об'єкти з відкритих водойм (річок, озер) повинно здійснюватися системою головних споруд, розміщених поза зонами можливих сильних руйнувань;
- артезіанські свердловини, резервуари чистої води і шахтні колодязі повинні бути пристосовані для роздачі води в пересувну тару;
- резервуари чистої води слід обладнати герметичними люками і вентиляцією з очищенням повітря від пилу;
- при наявності в місті кількох самостійних водопроводів необхідно передбачити з'єднання їх перемичками, які дозволяють відключати пошкоджені лінії і споруди з дотриманням санітарних правил [27].

До системи газопостачання:

При руйнуванні газових мереж газ може стати причиною вибуху і пожежі. Тому для більшої надійності і безпеки постачання:

- газ повинен подаватися в місто і на промислові об'єкти по двом незалежним газопроводам з протилежних сторін;
- газорозподільні станції необхідно розташовувати за межами міста з різних сторін;
- газові мережі за кільцюються та прокладаються під землею на глибині 0,6...1,7 метра;
- на газовій мережі в певних місцях повинні бути встановлені автоматичні пристрої, що відключають подачу газу, які спрацьовують від надлишкового тиску ударної хвилі;

— на газопроводах слід установлювати запірну арматури з дистанційним управлінням і крани, що автоматично перекривають подачу газу при розриві труб (це дозволяє відключати газові мережі певних ділянок і районів міста) [27].

5.6 Висновки

Необхідність вирішення питань безпеки зумовлює формування цілісної системи знань з проблем охорони праці, необхідних для прийняття за будь-яких умов обґрунтованих рішень щодо безпеки на рівні людини, колективу, підприємства, галузі, регіону й суспільства в цілому. У сфері виробничої діяльності рівень виробничого травматизму залишається високим, що є наслідком дії ряду чинників.

До них можна віднести недоліки в організації праці, порушення трудової і технологічної дисципліни, недостатню навченість персоналу, відсутність нагляду й контролю за безпечним виконанням робіт і дотриманням норм законодавчої бази.

Формування у майбутніх фахівців знань щодо стану й проблем охорони праці, вироблення вмінь та навичок в сфері управління потенційними небезпеками, охороною праці, пожежною безпекою дає можливість зменшити травматизм.

ВИСНОВКИ

В роботі досліджені характеристики поверхневого шару авіаційних деталей складної форми після віброударної обробки на прикладі лонжерона лопаті гвинта вертольоту.

При дослідженні якості поверхні розглянуті такі параметри: мікротвердість, залишкові напруження, шорсткість поверхневого шару. Контроль результатів проводився на зразках–свідках, що були встановлені на лонжероні. В результаті вимірювань побудували епюри розподілення залишкових напружень в залежності від глибини поверхневого шару.

Порівнюючи результати обробки внутрішньої (експеримент №2) та зовнішньої поверхні (експеримент №6) протягом 60 хв можна зробити висновок:

- шорсткість зразків після обробки внутрішньої поверхні лонжерону та зовнішньої поверхні при обробці протягом 60 хвилин мають найменші значення, ніж при іншій тривалості зміцнення;
- приріст мікротвердості поверхневого шару на зразках з зовнішньої поверхні складає 7%, а зразків з внутрішньої поверхні – 5,2%, при таких самих умовах обробки.

Отже на основі проведених експериментів можна зробити висновок, що найоптимальнішою тривалістю зміцнення при заданих режимах приймаємо 60 хвилин.

За результатами вимірів залишкових напружень можна зробити висновок, що напруження на зовнішніх зразках більші (30-70 МПа), ніж внутрішніх (25-40 МПа), але глибина залягання залишкових напружень в них менша. Найбільші залишкові напруження спостерігаються на зразках з місць близьких до ребра зовнішньої поверхні (до 94 МПа).

Так як в результаті віброударної зміцнюючої технології спостерігається збільшення мікротвердості поверхневого шару, виникнення сприятливих

залишкових напружень, це сприяє підвищенню втомної міцності деталі та збільшенню ресурсу роботи.

Наведена техніко–економічна оцінка ефективності використання даної технології зміцнення. Для визначення економічної доцільності використання одночасної обробки зовнішньої та внутрішньої поверхонь замість поетапної обробки за чотири переходи, розраховали вартість однієї машино–години для обох видів обробки та порівняли отримані значення.

Розроблені та запропоновані заходи з охорони праці, які спрямовані на забезпечення комфортних та безпечних умов при проведенні робіт.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Медведев, М. В. Совершенствование технологии виброударной упрочняющей обработки длинномерных деталей сложной формы: дис. ... канд. физ.–мат. наук : 05.02.08 : защищена 31.05.2011 : утв. 05.06.2011 / Медведев Максим Владимирович. – Ростов–на–Дону, 2011. – 191 с. – Библиогр. : с. 167 – 174. – 04201161531.
2. Волков, С.Д. Повышение качества и надежности машин. Опыт уральских заводов / С. Д. Волков, В. Р. Кубачек, Л. Г. Ку克林 [и др.]. – М.: Машиностроение, 1974. – 133 с.
3. Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
4. Бафаев, Д. Х. Упрочнение поверхностного слоя деталей машин виброударной обработкой / Д. Х. Бафаев. — Текст : непосредственный // Технические науки в России и за рубежом : материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2016 г.). — Москва : Буки–Веди, 2016. — С. 63–65. — URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/228/11191/> (дата обращения: 21.10.2021).
5. Семенченко, І. Ю. Проблема надійності технологічного процесу вібраційної обробки / І. Ю. Семенченко, М. С. Медведєва. – Текст: безпосередній // Молодий вчений. – 2016. – № 27 (131). – С. 157–159. – URL: <https://moluch.ru/archive/131/36503/> (дата звернення: 23.10.2021).
6. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіадвигунобудування і машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування» і «Технологія будування авіаційних двигунів» / укл. В.К. Яценко, В.І. Ципак, Є.Я. Коренєвський та ін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2003. – 245 с.
7. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи магістра для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 131

«Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування»/ Укл. доц., к.т.н., Гончар Н.В., доц., к.т.н. Дядя С.І. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 40 с.

8. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах (проектах) зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньою програмою (спеціалізація) «Технологія машинобудування»; 133 «Галузеве машинобудування» за освітньою програмою (спеціалізація) «Металорізальні верстати та системи; 134 «Авіаційна та ракетно–космічна техніка» за освітньою програмою (спеціалізація) «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок» / Укл. : В.І. Шмирко – Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 32 с.

9. Волков, О.И. Экономика предприятия : курс лекций. Серия: Высшее образование / О.И. Волков, В.К. Скляренко. – Москва: Высшая школа, 2001. – 100 с.

10. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 376 с.

11. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку, [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.037-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999.– URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99>. – (Державні санітарні норми)

12. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку, [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.037-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999.– URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99>. – (Державні санітарні норми)

13. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації, [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.039-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>. – (Державні санітарні норми)

14. НАОП 1.4.32–2.01–82 (ОСТ 11 090.028–82) "Інструкція з охорони праці. Порядок розроблення, оформлення та користування".

15. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс] : ДСанПіН 3.3.2.007-98. – Чинний від 1998-12-10. – К. : МОЗ України, 1998. – URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. – (Державні санітарні правила та норми).

16. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення [Текст] : ДБН В.2.2-28:2010. – На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 31 с. – (Державні будівельні норми)

17. ГОСТ 12.2.032–78. "ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования".

18. ГОСТ 12.1.030–81 (2001) "ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление"

19. ГОСТ 12.1.029-80. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Средства и методы защиты от шума

20. НПАОП 0.00–4.12–05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

21. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст] : НАПБ А.01.001-14. – На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30. – К. : МВС України, 2014. – 47 с. – (Нормативний акт пожежної безпеки)

22. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT) [Текст] : ДСТУ EN 2:2014. – На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016 / Мінекономрозвитку України, 2014. – 7 с. (Державний Стандарт України)

23. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1-36:2016. – На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. – 66 с. – (Національний стандарт України)

24. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Текст] : ДБН В.1.1-7:2016. – На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 47 с. – (Державні будівельні норми)

25. Системи протипожежного захисту [Текст] : ДБН В.2.5-56:2014. – На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 191 с. – (Державні будівельні норми)

26. Демиденко, Г.П. Повышение устойчивости работы объектов народного хозяйства в военное время [Текст]: / под ред. Г.П. Демиденко. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1984. – 232 с.

27. Конспект лекцій дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі», змістовний модуль «Цивільний захист», для студентів усіх спеціальностей та всіх форм навчання / Укл.: М. О. Журавель – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка». Каф. ОП і НС, 2020 р. – 49 с.

ДОДАТОК А
Результати вимірів залишкових напружень

Таблиця А.1 – Результати вимірів залишкових напружень зразків

Зразок 1Н																	
Відстань від поверхні, мкм																	
2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-7,3	-7,3
Відстань від поверхні, мкм																	
170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-7,3	-7,3	-7,3	-7,3	-7,3	-7,3	-7,3	-7,3	-7,3	-7,3	-7,3	-7,3	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7
Зразок 1ВН																	
Відстань від поверхні, мкм																	
2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4
Відстань від поверхні, мкм																	
170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-4,4	-4,4	-4,4	-3,3	-3,3	-3,3	-2,5	-1,8

[illegible]

Продовження таблиці А.1

[illegible]

Продовження таблиці А.1

Зразок 4Н																	
Відстань від поверхні, мкм																	
2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2
Відстань від поверхні, мкм																	
170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,0	-2,0	-1,4	-1,4	-1,4	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
Зразок 4ВН																	
Відстань від поверхні, мкм																	
2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9
Відстань від поверхні, мкм																	
170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-2,9	-2,9	-2,9	-3,4	-3,4	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-3,1	-2,3	-2,3	-2,3	-0,5	-0,5

Продовження таблиці А.1

Зразок 5Н																	
Відстань від поверхні, мкм																	
2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-7,5	-7,5	-7,5	-7,5	-7,5	-7,5	-9,4	-9,4
Відстань від поверхні, мкм																	
170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-9,4	-9,4	-9,4	-9,4	-9,4	-9,4	-9,4	-6,9	-6,9	-6,9	-6,0	-6,0	-4,6	-4,6	-4,6	-2,9	-2,9	-2,9
Зразок 5ВН																	
Відстань від поверхні, мкм																	
2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-6,4	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6
Відстань від поверхні, мкм																	
170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-6,6	-7,7	-7,7	-7,7	-7,7	-7,7	-7,7	-7,7	-7,7	-7,7	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-5,7	-5,7	-4,5

[illegible]

Продовження таблиці А.1

Зразок 7																	
Відстань від поверхні, мкм																	
2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-6,8	-6,8	-6,8	-6,8	-6,8	-6,8	-6,8	-7,3	-7,3	-7,3	-7,3	-7,3	-7,3
Відстань від поверхні, мкм																	
170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-7,3	-7,3	-7,3	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7	-5,0	-5,0	-5,0	-4,5
Зразок 7ДВ																	
Відстань від поверхні, мкм																	
2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-9,1
Відстань від поверхні, мкм																	
170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-9,1	-9,1	-9,1	-9,1	-9,1	-9,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,9	-3,9	-2,3	-2,3

[illegible]

Продовження таблиці А.1

Зразок 9																	
Відстань від поверхні, мкм																	
2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-8,9	-8,9	-8,9	-8,9	-8,9	-8,9
Відстань від поверхні, мкм																	
170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-8,9	-8,9	-7,7	-7,7	-6,7	-6,7	-6,7	-5,0	-5,0	-5,0	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
Зразок 9а																	
Відстань від поверхні, мкм																	
2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-6,1	-6,1	-6,1	-6,1	-6,1	-7,5	-7,5	-7,5	-7,5	-7,5	-7,5	-7,5	-6,9
Відстань від поверхні, мкм																	
170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
Залишкові напруження, кгс/мм ²																	
-6,9	-6,9	-6,9	-5,8	-5,8	-5,8	-5,8	-5,8	-5,8	-5,8	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-2,7	-2,7	-2,7	-1,6

